

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 федеральное государственное автономное
 образовательное учреждение высшего образования
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа ИШНПТ

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Исследование высокоскоростной обработки металлов на станках с ЧПУ

УДК 621.941.01

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Кукта Ярослав Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова С.Н.	к.ф.-м.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		

Консультант-лингвист

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Ю.П.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
15.04.01 Технологии наукоемких машиностроительных производств	Коростелева Е.Н.	к.т.н		

15.04.01 Машиностроение

Технологии наукоемких производств в машиностроении

Код	Результат обучения
	<i>Профессиональные компетенции</i>
P1	Применять <i>глубокие</i> естественнонаучные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания и обработки <i>новых</i> материалов
P2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий машиностроительного производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач
P3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием и обработкой материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов машиностроения
P4	Разрабатывать технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование и инструменты для обработки материалов и изделий, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке машиностроительного производства
P5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области современных технологий обработки материалов, нанотехнологий, создания <i>новых</i> материалов в <i>сложных</i> и <i>неопределенных</i> условиях
P6	Внедрять, <i>эксплуатировать</i> и обслуживать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на машиностроительном производстве, выполнять требования по защите окружающей среды
	<i>Универсальные компетенции</i>
P7	Использовать <i>глубокие знания</i> по <i>проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной</i> инженерной деятельности с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности.
P8	<i>Активно</i> владеть <i>иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности.
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации.
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i> .

P11	<i>Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности.</i>
-----	---

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение

Отделение школы (НОЦ) Отделение материаловедения

Руководитель ООП

_____ Коростелева Е.Н.
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ81	Кукта Ярославу Сергеевичу

Тема работы:

Исследование высокоскоростной обработки металлов на станках с ЧПУ	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	по приказу №59-68/с от 28.02.2020

Срок сдачи студентом выполненной работы:	11.06.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Исследование эффективности высокоскоростной обработки различных материалов на станках с ЧПУ в сравнении с классическими методами фрезерования. Материалы: Д16Т, Сталь 45, 12Х18Н10Т, 6ХС.
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	Обзор научно-технической литературы. Анализ классического и ВСО фрезерования. Общие правила и требования ВСО. Моделирование эксперимента. Анализ результатов.
Перечень графического материала	1. Презентация в Microsoft Power Point
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент,	Рыжакина Т.Г.

ресурсоэффективность и ресурсосбережение	
Социальная ответственность	Сечин А.И.
Разделы, выполненные на иностранном языке	Ажель Ю.П.
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Исследовательский раздел	
Research section	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	16.12.2019
---	------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова С.Н.	к.ф.-м.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ81	Кукта Ярослав Сергеевич		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 91 с., 26 рис., 38 табл., 7 источников, 1 прил.

Ключевые слова: высокоскоростная обработка (ВСО), трохоидальное фрезерование, классическое фрезерование, ЧПУ.

Объектом исследования является: применение высокоскоростной обработки материалов на станках с ЧПУ.

Цель работы – исследование эффективности высокоскоростной обработки различных материалов на станках с ЧПУ в сравнении с классическими методами фрезерования.

В процессе исследования решались следующие задачи: влияние траектории на время обработки детали, определение режимов резания для ВСО обработки, требования к технологическому оснащению.

Анализ данных показывает, что с применением высокоскоростной обработки сокращается машинное время изготовления изделий, повышается стойкость инструмента, снижаются вибрации при обработке, а также происходит равномерный износ по всей режущей кромке.

Область применения: Машиностроительные предприятия.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	9
1 Исследовательский раздел	11
1.1 Обзор научно-технической литературы	11
1.1 Анализ классического и высокоскоростного фрезерования	13
1.2 Области использования высокоскоростной обработки	17
1.3 Требования к оборудованию	18
1.4 Требование к САМ-системе	19
1.5 Требования к оснастке	19
1.6 Требование к системе охлаждения	23
1.7 Режимы резания	23
2 Моделирование эксперимента	25
2.1 Технологическое обеспечение	25
2.2 Результаты исследования	27
3 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	36
3.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования	36
3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	37
3.3 Fast-анализ	38
3.4 SWOT-анализ	43
3.5 Инициация проекта	46
3.6 Цели и результат проекта	46
3.7 Организационная структура проекта	47
3.8 Ограничения и допущения проекта	47
3.9 План проекта	48
3.10 Бюджет научного исследования	50
3.11 Накладные расходы	51
3.12 Общие итоги финансирования и расходов	51

3.13 Матрица ответственности	52
3.14 Оценка экономической эффективности проекта	52
3.15 Оценка научно-технического уровня НИР	53
3.16 Реестр риска проектов	55
3.17 Оценка сравнительной эффективности исследования	55
4 Социальная ответственность	59
4.1 Производственная безопасность	59
4.1.1 Анализ условий труда на рабочем месте	59
4.1.2 Анализ показателей шума и вибрации	61
4.1.3 Анализ показателей микроклимата	62
4.1.4 Анализ освещенности рабочей зоны	63
4.1.5 Анализ электробезопасности	67
4.2 Экологическая безопасность	68
4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	69
4.4 Пожарная безопасность	70
4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	74
4.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность»	75
Заключение	76
Список использованных источников	77
Приложение А	78

Введение

Современное производство стремится к увеличению сроков выпуска изделий. Это стимулирует предприятия применять новые стратегии в обработке материалов.

Процесс фрезерования претерпел множество преобразований. В процессе развития возникали новые стратегии, которые считались самыми совершенными для своего времени.

Вычислительные мощности современных систем управления станков с ЧПУ в сочетании с инновационными системами и программирования САМ являются основой для нового шага в эволюционных процессах обработки высокопроизводительного трохоидального фрезерования.

Результатом применения данной стратегии является возможность работы с высокими скоростями резания используя всю длину режущей кромки инструмента с минимальным его износом.

В данной научно-исследовательской работе изучается вопрос применения высокоскоростного трохоидального фрезерования различных материалов на станках с ЧПУ.

Цели – исследование эффективности высокоскоростной обработки различных материалов на станках с ЧПУ в сравнении с классическими методами фрезерования.

Задачи – изучение параметров обработки различных материалов; изучение требований к обработке; моделирование эксперимента.

Методы исследования – данные задачи решаются прогрессивными технологиями. Применение новых систем зажима инструмента. Использование современного программного обеспечения – SolidCAM, Vericut, Cimco Edit.

Научная новизна – повышение производительности обработки различных материалов применением высокоскоростного трохоидального фрезерования.

Практическая ценность – сокращение машинного времени; повышение стойкости инструмента; снижение стоимости продукции.

Во введении работы сформулирована актуальность темы, установлены цели и задачи исследования, определена новизна и практическая значимость полученных результатов.

В заключении изложены основные выводы и результаты работы.

1 Исследовательский раздел

1.1 Обзор научно-технической литературы

Высокоскоростная обработка – это методы обработки материалов основанные на быстром удалении слоя материала с незначительными усилиями.

Немецкий исследователь Карл Соломон в 1931 году представил официальное объяснение: «При определенных скоростях резания тепловыделение начинает уменьшаться», что сопровождается уменьшением силы резания». Область использования скоростей резания отображена на Рисунок 1 – Область использования скоростей резания (кривые К.Соломона), на котором отображена неиспользованная область обработки между традиционной и высокоскоростной обработкой [1].

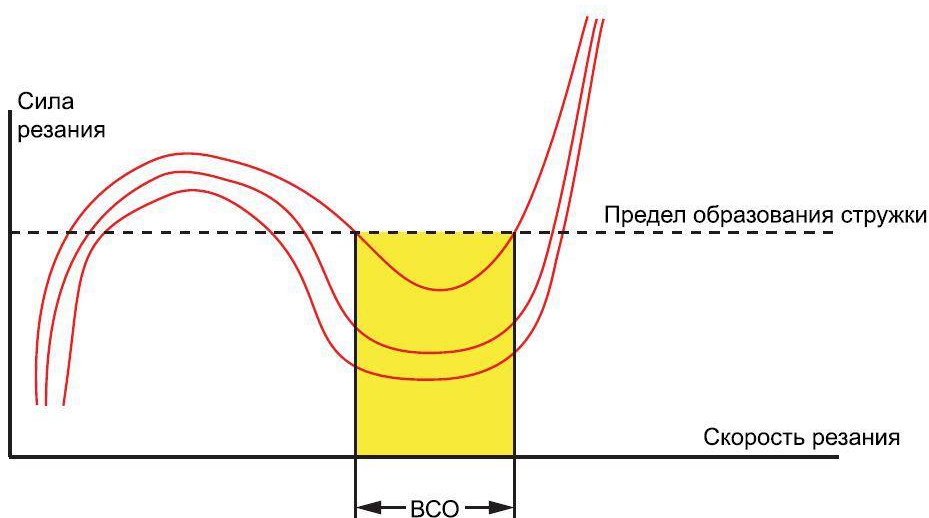


Рисунок 1 – Область использования скоростей резания (кривые К.Соломона)

Эффект ВСО обуславливается структурными изменениями материала (из-за пластических деформаций, осуществляемых с большой скоростью) в месте отрыва стружки. При повышении скорости деформаций, силы резания первоначально растут, а потом с достижением определенной температуры в зоне образования стружки, начинают существенно снижаться. Малое время контакта режущей кромки с заготовкой и стружкой является следствием высокой

скорости отрыва стружки, так как большая часть тепла, образующегося в зоне резания, удаляется вместе со стружкой, заготовка и инструмент не успевают нагреваться.

При лезвийной обработке материалов, которые образуют сливную стружку, у режущей кромки происходит пластическая деформация и резание материала, наблюдается процесс трения между стружкой и передней поверхностью инструмента, а также между поверхностью детали и задней поверхностью инструмента. При высокоскоростной обработке с возрастанием скорости резания коэффициент трения уменьшается. Это происходит по причине размягчения обрабатываемого материала в зоне разреза, в некоторых случаях – до появления жидкого слоя.

В ходе многих опытов было установлено, что 80% тепла образуется в зоне пластической деформации, 18% – в зоне контакта стружка-инструмент и 2% – в зоне трения режущей кромки инструмента о материал [1].

Исследованиями доказано, что при правильно подобранных параметрах 75% произведенного тепла отводятся со стружкой, 20% – через инструмент и 5% через обрабатываемую заготовку [1].

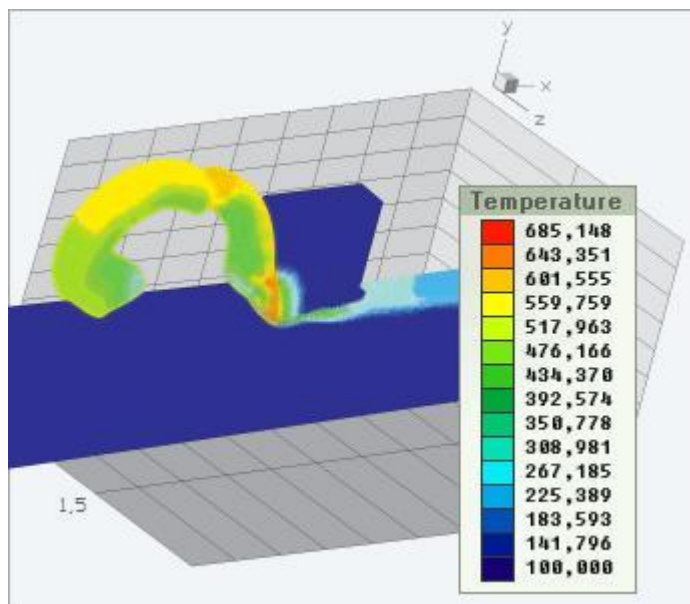


Рисунок 2 – Распределение температуры в зоне резания при HSM по результатам [1]

1.1 Анализ классического и высокоскоростного фрезерования

При традиционном фрезеровании паза, фреза удаляет материал на ширину равную полному диаметру фрезы. На входе инструмента в материал образуется толстая стружка, а на выходе из него – тонкая. Тонкая стружка относительно толстой, отводит меньшее количество тепла образуемого в зоне резания. Часть неотведенного тепла находится в зоне резания, и остается на режущей кромке инструмента. Величина подачи на зуб f_z соотносится со скоростью перемещения фрезы в сторону подачи. В классическом фрезеровании эта величина является постоянной. Выражается формулой:

$$f_z = h_m \sqrt{\frac{d}{ae}};$$

где: h_m – средняя толщина стружки, мм;

ae – ширина фрезерования, мм;

d – диаметр фрезы, мм.

На величину f_z влияет величина контакта ae , которая также отражает уровень контакта диаметра фрезы d и средней толщины стружки h_m .

Данные значения зависят от обрабатываемого материала и процесса обработки, параметры остаются постоянными до тех пор, пока не изменится направление движения инструмента. Таким образом подача на зуб f_z остается постоянной. Толщина стружки определяет нагрузку на режущую кромку [2].

Таким образом, классическое фрезерование характеризуется непостоянством толщины стружки, невысоким удельным объемом снятия материала, различным качеством поверхности при двустороннем фрезеровании, низкой стойкостью инструмента и высоким требованиям к мощности оборудования.

Преобразовывая формулу величины подачи на зуб, зависящую от толщины стружки, можно записать в ином виде:

$$h_m = f_z \sqrt{\frac{ae}{d}}.$$

Таблица 1 – Эффект уменьшения толщины стружки

ae %	Запрограммированная подача f_z мм/зуб	Толщина стружки h_m мм
100	0,15	0,1
50	0,15	0,1
40	0,15	0,09
20	0,15	0,07
10	0,15	0,046

Толщина стружки h_m зависит от угла подъёма винтовой линии режущей кромки. При постоянной подаче f_z толщина стружки обратно пропорциональна углу подъёма винтовой линии. Это означает, что чем больше угол подъёма винтовой линии, тем тоньше стружка. Для повышения производительности и нагрузки на режущую кромку также можно увеличить подачу [3].

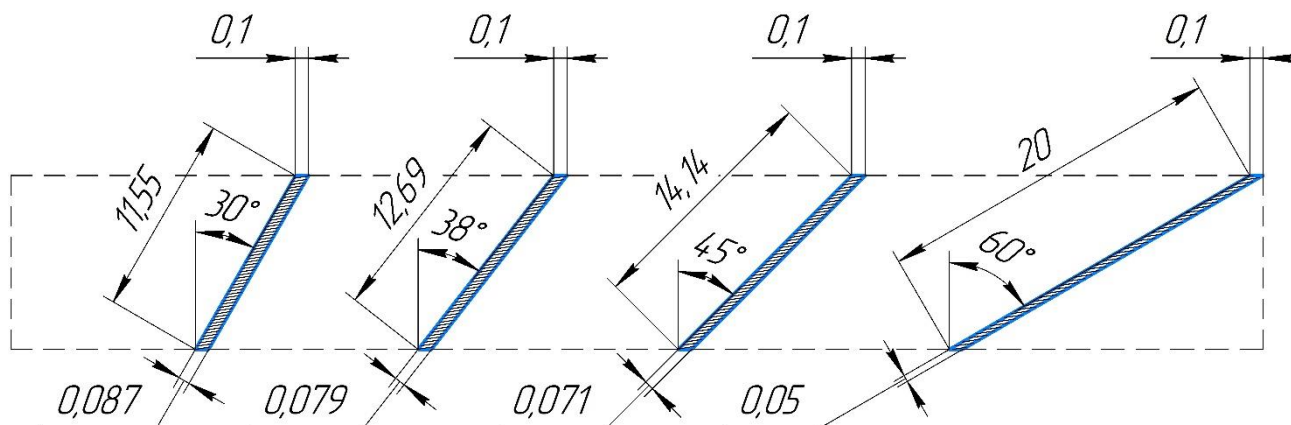


Рисунок 3 – Зависимость толщины стружки от угла подъёма винтовой линии

Уменьшение ширины фрезерования ae также уменьшает длину и время контакта материала с режущей кромкой, что позволяет снизить температурное воздействие и повысить скорость резания.

Таблица 2 – Зависимость угла контакта от коэффициента скорости резания

ae/d	100% ae	50% ae	40% ae	30% ae	20% ae	10% ae	5% ae	4% ae
Коэффициент скорости резания	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	2,5	3
Угол контакта ϕ°	180	90	78,46	66,42	55,13	36,87	25,84	23,03

Трохоидальное фрезерование – это технология высокоскоростной обработки, реализуется путем совмещения двух перекрывающихся движений прямолинейного и эллиптического [2].

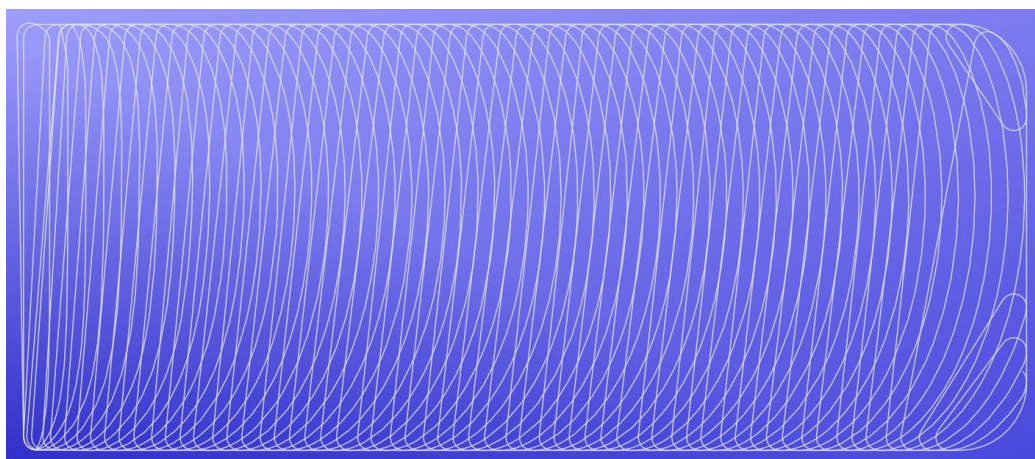


Рисунок 4 – Траектория трохоидального фрезерования

Для трохоидального фрезерования значения, которые были постоянными непрерывно пересчитываются САМ системой.

Метод трохоидального фрезерования представлен в двух вариациях: статического и динамического фрезерования.

Используя описанные преимущества, рассмотрим, как это осуществляется в статическом трохоидальном фрезеровании также на примере паза (Рисунок 5 – Статическое трохоидальное фрезерование паза).

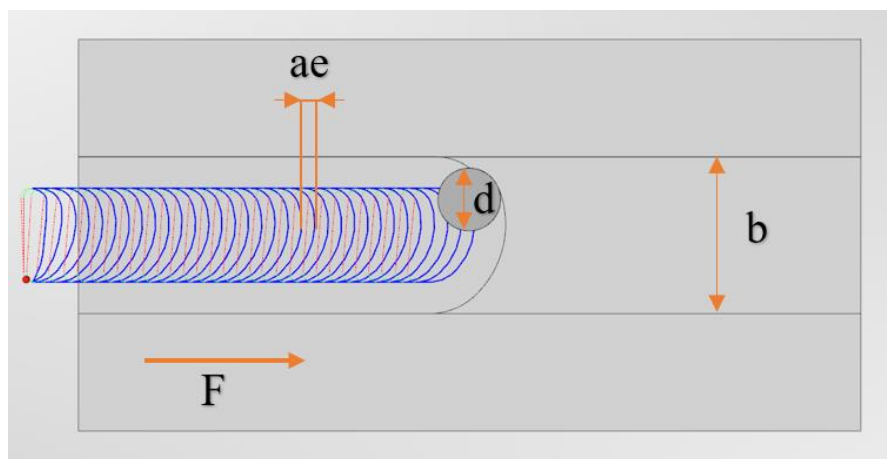


Рисунок 5 – Статическое трохоидальное фрезерование паза

Диаметр фрезы d должен быть равен примерно 60-70% от диаметра паза. Данное условие идеально подходит для того, чтобы инструмент совершал эллиптические движения со смещением, равной ширине фрезерования ae . В процессе обработки инструмент постепенно врежется в материал и выйдет из него.

В большинстве систем с ЧПУ данный метод не составит сложности запрограммировать, и оптимизировать траекторию обработки, превратив холостое перемещение по круговой линии в прямое перемещение, то есть траектория движения буквой D.

Метод динамического фрезерования также базируется на малой ширине фрезерования и толщине стружки, требуя более современную САМ систему для написания управляющей программы. Данным методом можно проводить обработку сложных контуров, уступов, углов с использованием элементов винтовой интерполяции.

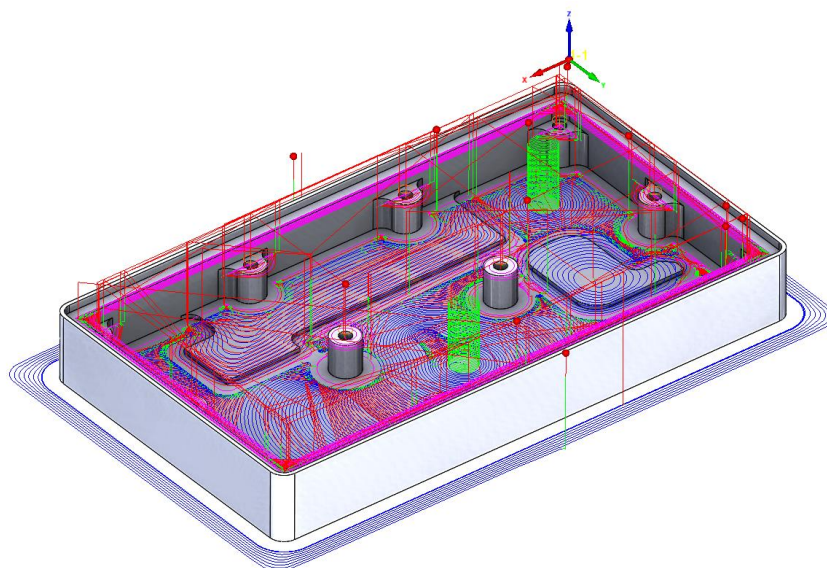


Рисунок 6 – Динамическое трохоидальное фрезерование детали типа «Корпус»

Применение динамического трохоидального фрезерования дает следующие преимущества: постоянство толщины стружки, уменьшение угла контакта резания, существенное снижение нагрузки на режущую кромку инструмента, пониженное тепловыделение, применение высоких скоростей резания и подач, сокращение машинного времени и повышение ресурса стойкости режущего инструмента, эффективное использование всей длины инструмента, низкие требования к мощности оборудования, пониженный риск выхода из строя шпиндельного узла за счет колебания и пиковых нагрузок крутящего момента.

1.2 Области использования высокоскоростной обработки

Области использования высокоскоростной обработки:

отрасль авиационно-космической промышленности. Обработка крупногабаритных деталей из алюминиевых сплавов. (Крыльчатки, лопатки, диски компрессора, ручки);

отрасль – мелкосерийного/серийного производства деталей. Обработка различных материалов (сталь, алюминий, инконель). Детали типа: корпуса, вилки, гребенки, переходники, упоры;

отрасль – изготовления пресс-форм/матриц для литья под давлением и холодной штамповки.

1.3 Требования к оборудованию

Главное требование для осуществления высокоскоростной механической обработки материалов на станках с ЧПУ фрезерной группы, является наличие опции предпросмотра кадров. Это означает, что стойка системы ЧПУ наперед читает кадры управляющей программы, и дает возможность выполнять сложные движения без задержек, и ущерба для оборудования. Опция обеспечивает желаемые результаты обработки при сочетании коротких ходов с высокой скоростью подачи [4].

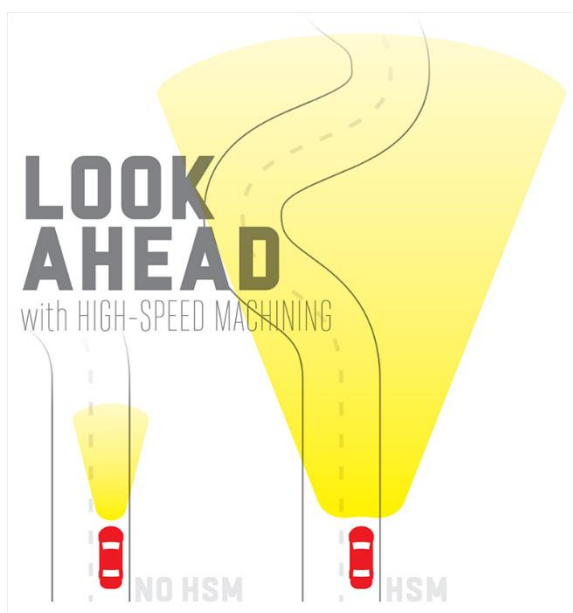


Рисунок 7 – Графическая иллюстрация смысла опции HSM

В системах ЧПУ фирмы Siemens включение опции высокоскоростного фрезерования осуществляется путем добавления G-команд к управляющей программе:

SOFT FFWON COMPCAD G64 или CYCLE 832(0.01, 1,1).

Для других производителей систем ЧПУ будут свои G-команды:

для стоек фирмы HAAS:

G187 PnE;

где: Pn – уровень обработки (гладкости траектории):

P1 – уровень черновой обработки;

P2 – уровень получистовой обработки;

P3 – уровень чистовой обработки.

для стоек фирмы FANUC функция высокоскоростной обработки работает только для одного инструмента, а не на всю программу, т.е. для каждого инструмента G-команду надо прописывать заново. Включение опции прописывается до взятия корректора на длину текущего инструмента, и отключается принудительно до смены инструмента:

G5.1 Q1;

///

G5.1 Q0.

1.4 Требование к САМ-системе

Для генерации управляющих программ с использованием высокоскоростной обработки САМ-система должна поддерживать модуль высокоскоростной обработки. Модуль формирует траектории запрограммированных участков обработки в виде полиморфных спиралей.

На текущий момент у популярных САМ-систем есть следующие модули: SolidCAM – модуль Imachining, Mastercam – Dynamic Motion, Inventor HSM – Adaptive Clearing, NX CAM – Volumill.

1.5 Требования к оснастке

Для осуществления высокоскоростной обработки, инструмент должен быть жестко закреплен в патроне станка. Применяют патроны: Weldon, термо, гидро.

Патрон Weldon

Фрезерный патрон Weldon предназначен для надежного центрирования и фиксации режущего инструмента с хвостовиком. Патрон имеет стандартную конструкцию, выполнен в стандартном исполнении в виде цилиндра, на конце которого расположен конус. На торце конуса выполнено точное отверстие определенного диаметра по допуску А6.



Рисунок 8 – Патрон Weldon и применяемые фрезы с лыской

Для работы с патроном понадобится инструмент, на хвостовике которого имеется лыска.

Зажатие осуществляется закручиванием винта, винт упирается в площадку лыски и надёжно фиксирует инструмент.

Достоинства: высокая жесткость зажима инструмента в сравнении с цанговым патроном, простота конструкции изделия.

Недостатки: для инструментов с различным диаметром хвостовика нужны различные патроны.

Термопатрон

Термопатрон используется для зажима инструмента под действием термического сжатия. На торце патрона выполнено точное отверстие определенного диаметра используемого инструмента по допуску А6.

Принцип работы термопатрона в следующем: патрон нагревается в термоусадочном устройстве, под действием температуры посадочное отверстие расширяется и устанавливается инструмент. При охлаждении патрон сжимается, и установленный инструмент зажат с предельным усилием. Охлаждение патрона происходит на воздухе или в специальной камере термоусадочного устройства. Разжим патрона происходит подобным образом.



Рисунок 9 – Патрон фирмы «HAIMER»



Рисунок 10 – Термоусадочная машина фирмы «BILZ»

Достоинства: высокая надежность и максимальное усилие зажима на большом вылете инструмента; существенно повышается стойкость режущего инструмента; первый выбор производительности из всех зажимных систем.

Недостатки: для инструментов с различным диаметром хвостовика нужны разные патроны; необходимо специальное оснащение для установки/снятия инструмента; патрон подвержен износу по причине циклов нагрева/охлаждения.

Гидропатрон

Гидропатрон – фрезерная оправка, противоположная термопатрону. Зажим режущего инструмента происходит за счет давления жидкости.

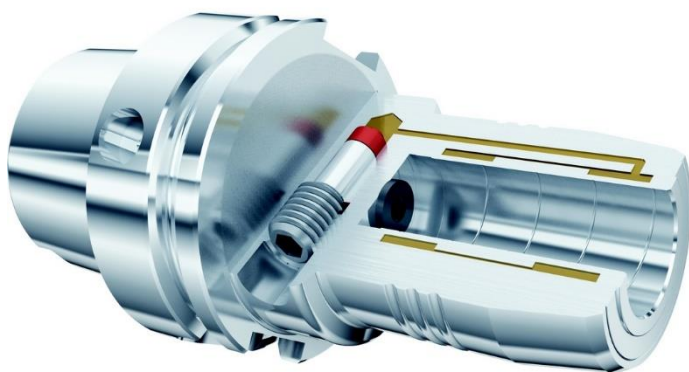


Рисунок 11 – Гидропатрон в разрезе фирмы «SCHUNK»

Принцип работы гидропатрона в следующем: зажим инструмента происходит за счет поворота крепежного винта в боковой поверхности патрона, в полости с жидкостью создается высокое давление, которое приводит к деформации зажимной втулки и инструмент плотно обжимается с минимальным смещением оси инструмента. Жидкость, находящаяся в патроне, способствует гашению вибраций.

Гидропатрон более универсален в отличие термопатрона требующего специального оснащения.

Достоинства гидропатрона являются аналогичными достоинствами термопатрона.

Недостатки: для инструментов с различным диаметром хвостовика нужны разные патроны; не высокое усилие зажима в сравнении с термопатроном; после длительного использования патроны могут подтекать.

1.6 Требование к системе охлаждения

При использовании классической системы подачи СОЖ стойкость инструмента значительно снижается, это проявляется главным образом в выкрашивании режущих кромок инструмента, что обусловлено термическими нагрузками. Постоянная тепловая нагрузка, даже на относительно высоких температурах, лучше, чем меняющаяся при относительно низких температурах циклическая нагрузка. Наиболее предпочтительным является охлаждение обдувом сжатого воздуха инструмента [5].

1.7 Режимы резания

Определение режимов резания один из главных пунктов для успешной и качественной обработки. Существуют различные рекомендации для расчета режимов резания при применении ВСО.

Существует два подхода определения режимов резания: аналитический и экспериментальный.

Аналитический метод расчетов режимов резания основывается на материале инструмента, геометрии, вылете, глубине, ширине резания и предела прочности обрабатываемого материала.

Экспериментальный метод режимов резания основывается на том, что производитель режущего инструмента указывает диапазон режимов резания, а именно: скорости, глубины и подачи на время стойкости инструмента.

Некоторые САМ системы умеют рассчитывать режимы резания. SolidCAM является единственной САМ системой, которая определяет оптимальные

режимы резания из условий обработки. Запатентованный модуль «iMachining» от SolidCAM автоматически оптимизирует скорости подачи, частоту вращения инструмента, глубину и ширину резания.

«iMachining» учитывает характеристики станка с ЧПУ, а также материала заготовки и инструмента для вычисления оптимальных условий резания [6].

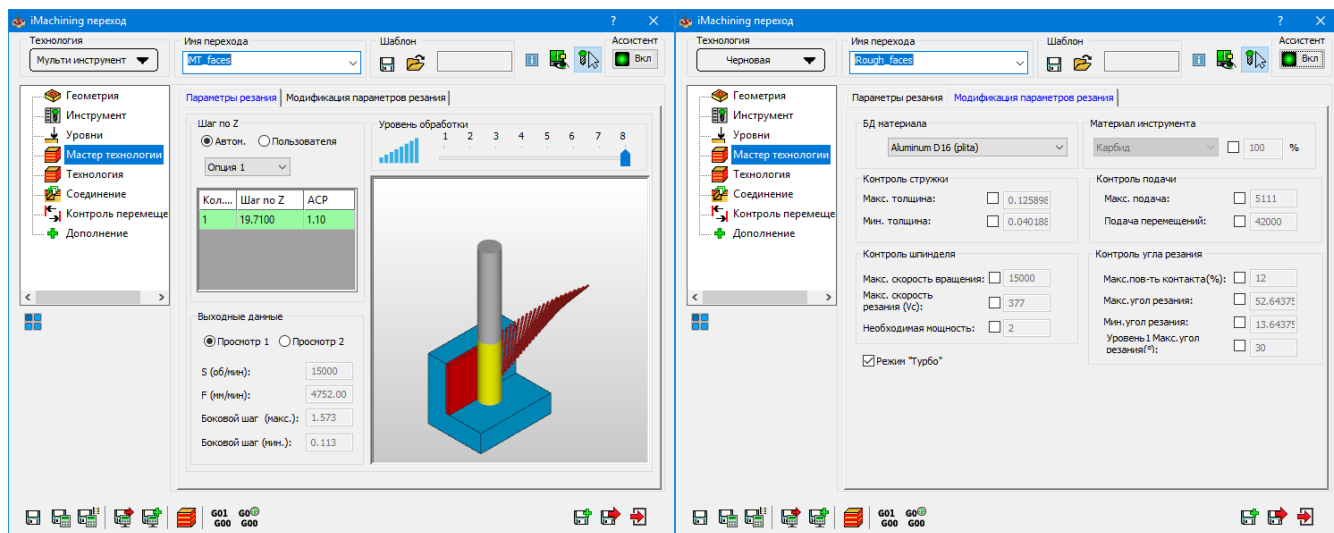


Рисунок 12 – Диалоговые окна модуля iMachining

На рисунке 12 изображен ползунок «Уровень обработки iMachining» позволяющий пользователю выбрать один из 8 возможных уровней, чтобы автоматически адаптировать обработку к «реальным» условиям закрепления заготовки и инструмента, а также, условиям обработки.

2 Моделирование эксперимента

При моделировании эксперимента используются различные материалы: дюралюминиевый сплав Д16Т, конструкционная сталь 45; аустенитная нержавеющая сталь 12Х18Н10Т и термообработанная инструментальная штамповая сталь – 6ХС.

Таблица 3 – Пределы прочности материалов, МПа

Материал			
Д16Т	Сталь 45	12Х18Н10Т	6ХС
420	640	530	1400

2.1 Технологическое обеспечение

Обработка будет происходить на вертикальном обрабатывающем центре DMC 650V от DMG MORI. Данный станок обладает достаточной жесткостью и мощностью для обработки различных материалов. Станок оснащен мотор-шпинделем с частотой вращения 15000 об/мин. Подробные технические характеристики представлены в **Ошибка! Неверная ссылка закладки..**

Таблица 4 – Технические характеристики оборудования

DMC 650V		
Макс. ход по оси X, Y, Z	мм	650, 520, 475
Скорость подачи	мм/мин	12 000
Частота вращения шпинделя	об/мин	15 000
Мощность (40 / 100 % ED)	кВт	21/16
Крутящий момент (40 / 100 % ED)	Нм	111/85
Зажим инструмента согласно DIN 69871	-	SK40
Количество позиций инструмента	-	20
Макс. нагрузка на стол	кг	800
Макс. высота заготовки	мм	475
Длина стола	мм	960
Ширина стола	мм	570
Система управления	-	SIEMENS 840 D SL



Рисунок 13 – Вертикально обрабатывающей центр DMC 650V от DMG MORI

Зажим детали будет происходить в прецизионных тисках D688 фирмы KURT. Данные тиски обладают высоким качеством и точностью. Максимальное усилие зажим детали составляет 36 кН. Отличительной особенностью данных тисков, является возможность использовать накладные сменные губки.

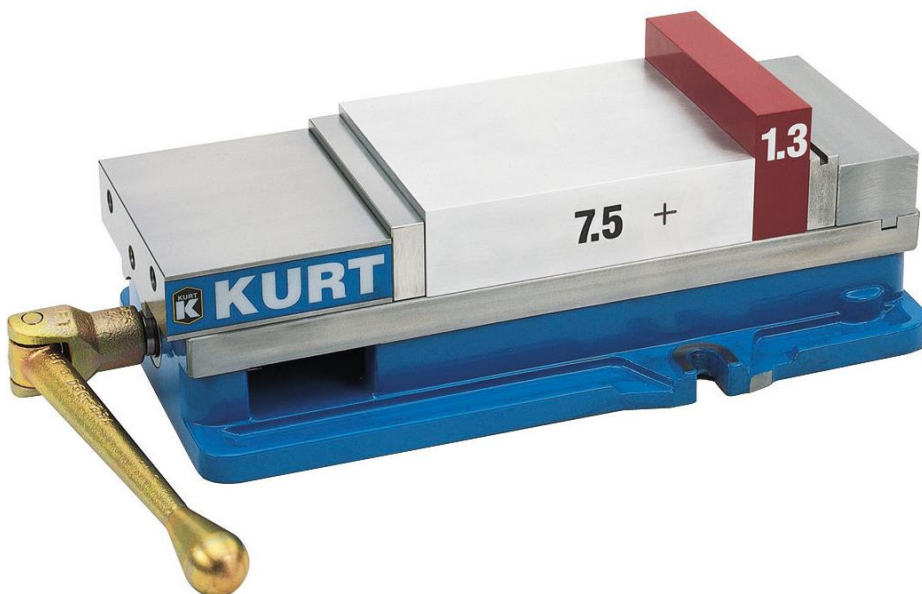


Рисунок 14 – Прецизионные тиски KURT D688

Режущий инструмент компании GARANT. Диаметр инструмента 12 мм. Инструмент закреплен в патроне Weldon. Геометрия и серия фрез подобраны из рекомендаций каталога производителя [7].

Таблица 5 – Геометрические параметры инструментов

Тип обработки	Арт.	D	Ap	AE	Z	v	fz	Угол спирали	Угол контакта
Традиционная	203003 -12	12	26	0,3d	4	95	0,05	38	47,16
Высокоскоростное трохоидальное фрезерование	203019 -12	12	36	0,1d	5	240	0,06	45	32,86
Обработка с высокими подачами	213110 -63/5	63	2	0,3d	5	100	0,09	90	-

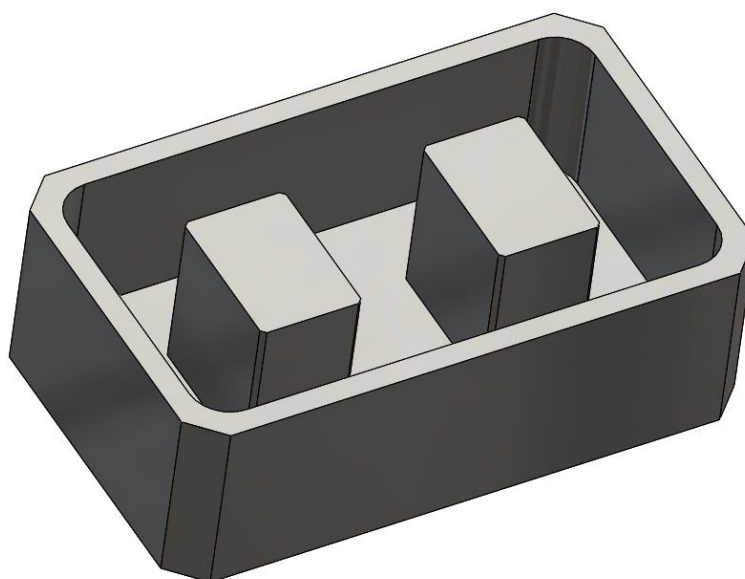


Рисунок 15 – Обрабатываемая деталь «Корпус»

2.2 Результаты исследования

Режимы резания для высокоскоростного фрезерования рассчитаны с помощью интеллектуального модуля «iMachining» от компании SolidCAM. Модуль «iMachining» рассчитывает режимы резания на основании материала обработки, геометрических параметров инструмента (важно, максимально детально и точно описать инструмент в базе данных программы) и технических характеристик станка.

Доп. характеристики

Единицы измерения: Миллиметр

Имя: 12X18H10T

Категория: Несгруппированные

Параметр	Величина	Единицы измерения
Предел прочности	530.000	МПа
Фактор обрабатываемости	0	%
Фактор толщины стружки	100	%
Скорость резания	Автом.	Вс
Область контакта	Автом.	%
Макс. угол резания	Автом.	Градусы °
Мин. угол резания	Автом.	Градусы °
Уровень 1 Макс. угол рез...	30.0	Градусы °
Режим Turbo	Выкл.	Переключить
Обязат. Мин. угол резания	Выкл.	Переключить
Козф.для быстрорежущ...	40.0	%
Козф. для кобальта	60.0	%
Козф.для твердого сплава	100.0	%
Козф. Для высококачеств...	150.0	%

Применить Сохранение & Выход Отмена

Рисунок 16 – База данных iMachining для описания материала

Доп. характеристики

Едини: Миллиметр

Имя: DMC 650V

Параметр	Величина	Единицы измерения
Макс. Скорость шпинделя	15000	Об/мин
Макс. Подача	12000	мм/мин
Подача перемещений XY	Макс. подача	мм/мин
Подача перемещений Z	3000	мм/мин
Макс. Мощность шпинделя	21.0	кВт
Эффективность	95	%
АСР допуск	20.00	%
Уровень обработки	5	Целочисленный

Применить Сохранение & Выход Отмена

Рисунок 17 – База данных iMachining для описания станка

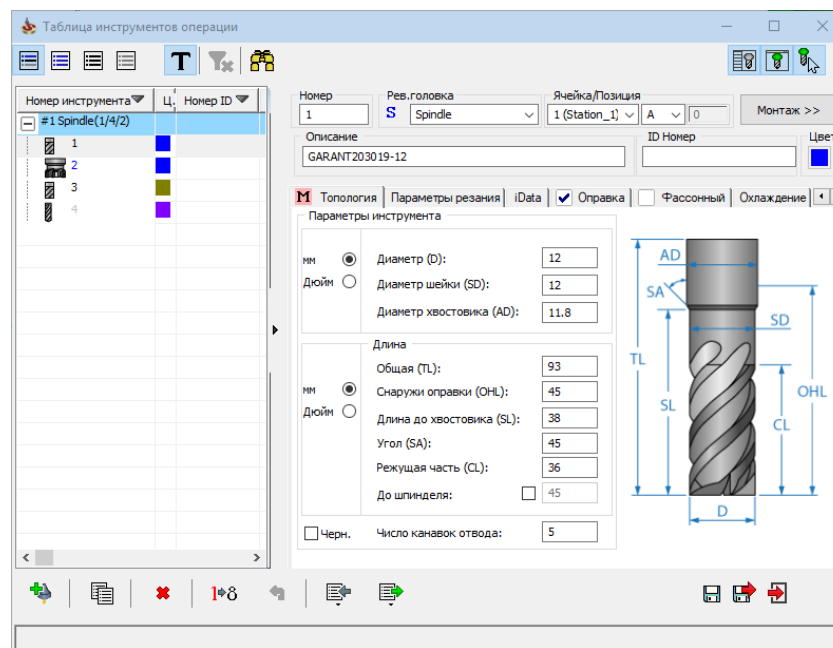
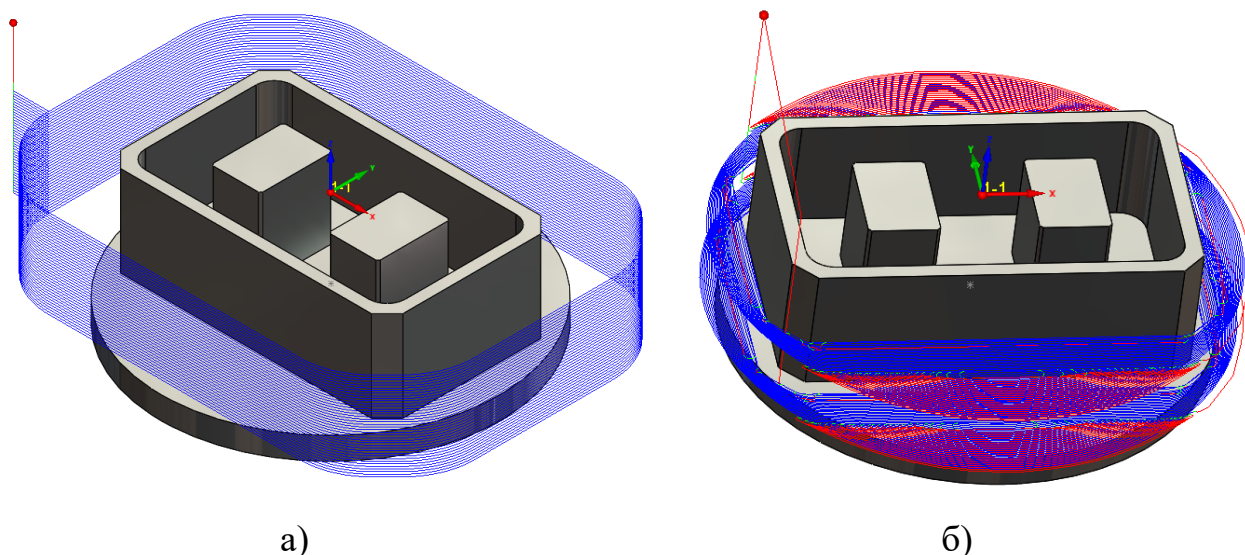


Рисунок 18 – База данных SolidCAM для описания геометрических параметров режущего инструмента

Данное сравнение технологии обработки показывает, насколько бывает эффективна технология, и насколько происходит экономия рабочего времени оборудования, а также экономия ресурса.



а)

б)

Рисунок 19 – Наружная обработка детали

а) Обработка с высокими подачами

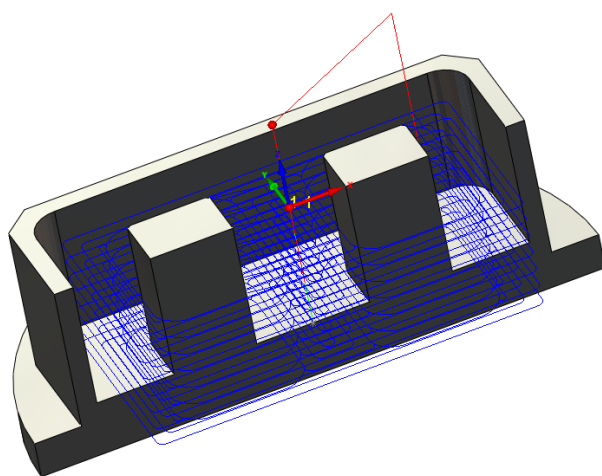
б) обработка высокоскоростная с прим. Imachining

Таблица 6 – Результаты наружной обработки «Корпус» из 12Х18Н10Т

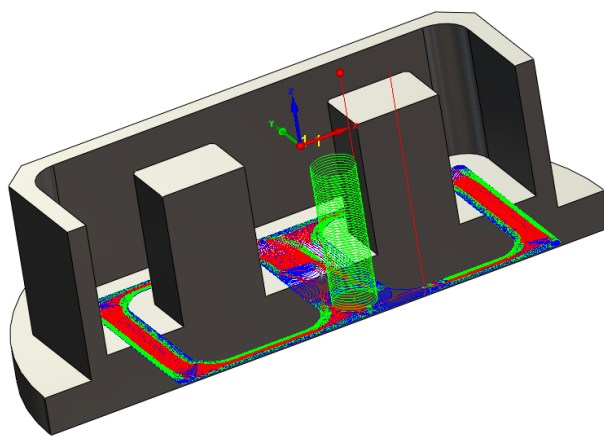
Инструмент	Технология	Скорость	Подача	Глубина	Время
		м/мин	мм/мин	мм	мин
212910-63/5	Обработки с высокими подачами	100	2560	1	10.28
203019-12	ВСО	173	2250	21	9.56

Факторы повлиявшие на выбор стратегии:

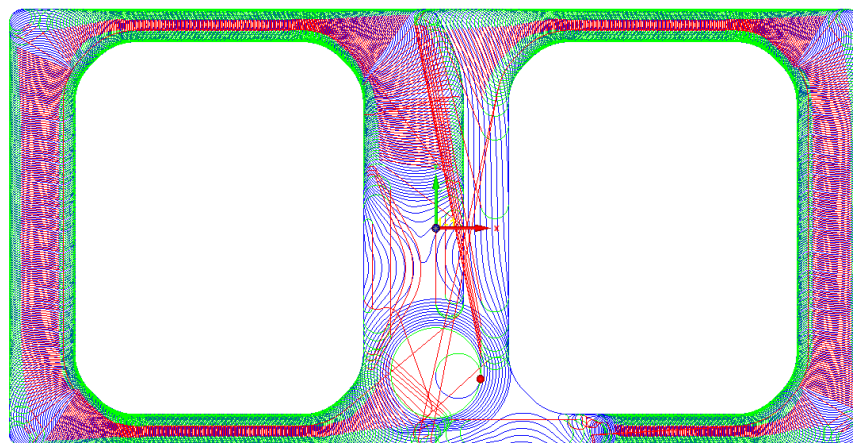
- а) Обработка с высокими подачами – повышенные силы резания (70% мощности шпинделя), наличие вибраций (в допустимом диапазоне), заметный износ режущих кромок;
- б) Высокоскоростная обработка – низкие силы резания (оптимальная нагрузка, около 10% мощности), низкий уровень вибраций, высокая стойкость инструмента.



а)



б)



с)

Рисунок 20 – Внутренняя обработка детали

а) Обработка традиционным методом; б) обработка высокоскоростная с прим. Imachining; с) траектория обработки Imachining

Таблица 7 – Результаты внутренней обработки «Корпус» из 12Х18Н10Т

Инструмент	Технология	Скорость	Подача	Глубина	Время
		м/мин	мм/мин	мм	мин
203003-12	Традиционная	75	397	5	26.55
203019-12	ВСО	173	3100	35	17.24

Экономия времени составляет 35%.

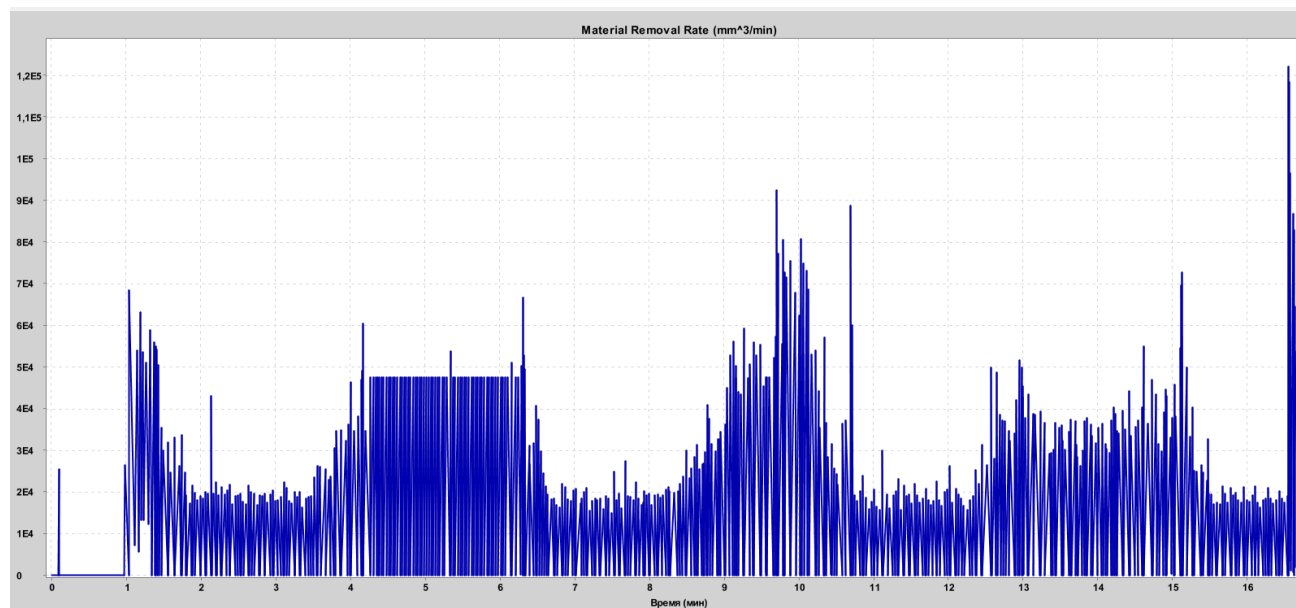


Рисунок 21 – Обработанная деталь на станке DMC 635V

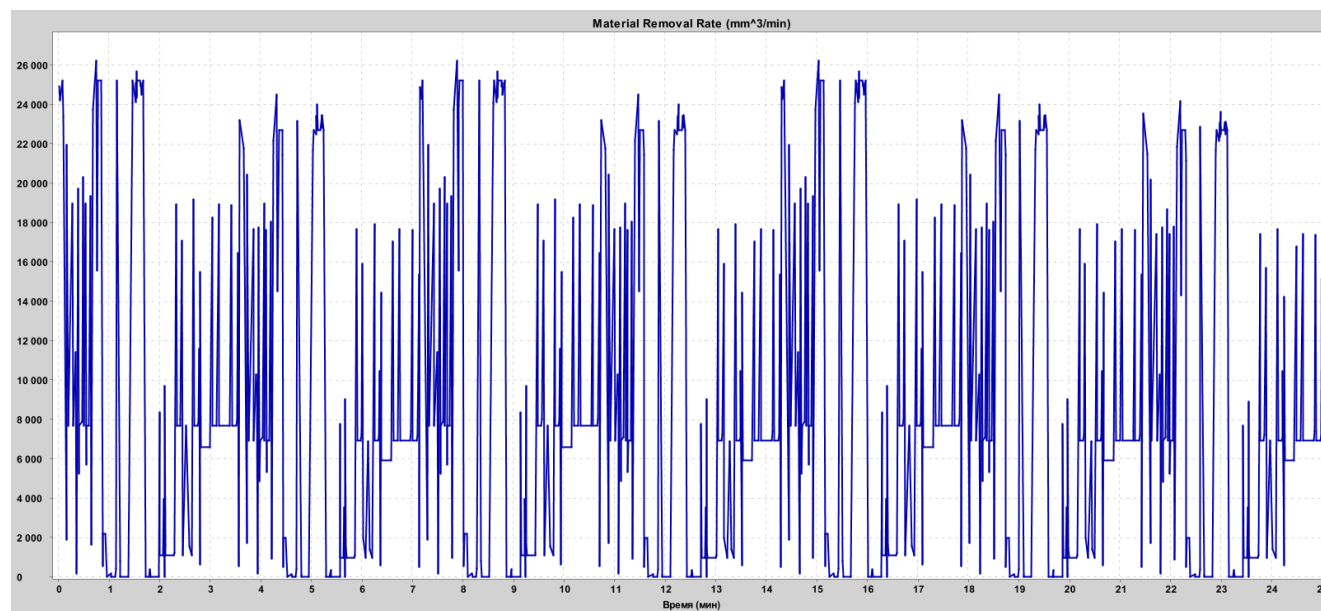
Графики объема снимаемого материала и толщины стружки для внутренней обработки материала 12X18H10T представлены ниже.

Таблица 8 – Результаты обработки различных материалов

Материал	Классическая				ВСО				Сокр. врем.
	V	f	Ap	T	V	f	Ap	T	
	м/мин	мм/мин	мм	мин	м/мин	мм/мин	мм	мин	%
Д16Т	190	600	18	4.1	449	10559	35	2.1	51
Сталь 45	100	320	12	13.8	187	3600	35	12.8	8
6ХС	25	300	6	133.7	35	1369	35	95.3	29
12X18H10T	75	397	5	26.55	173	3100	35	17.24	35

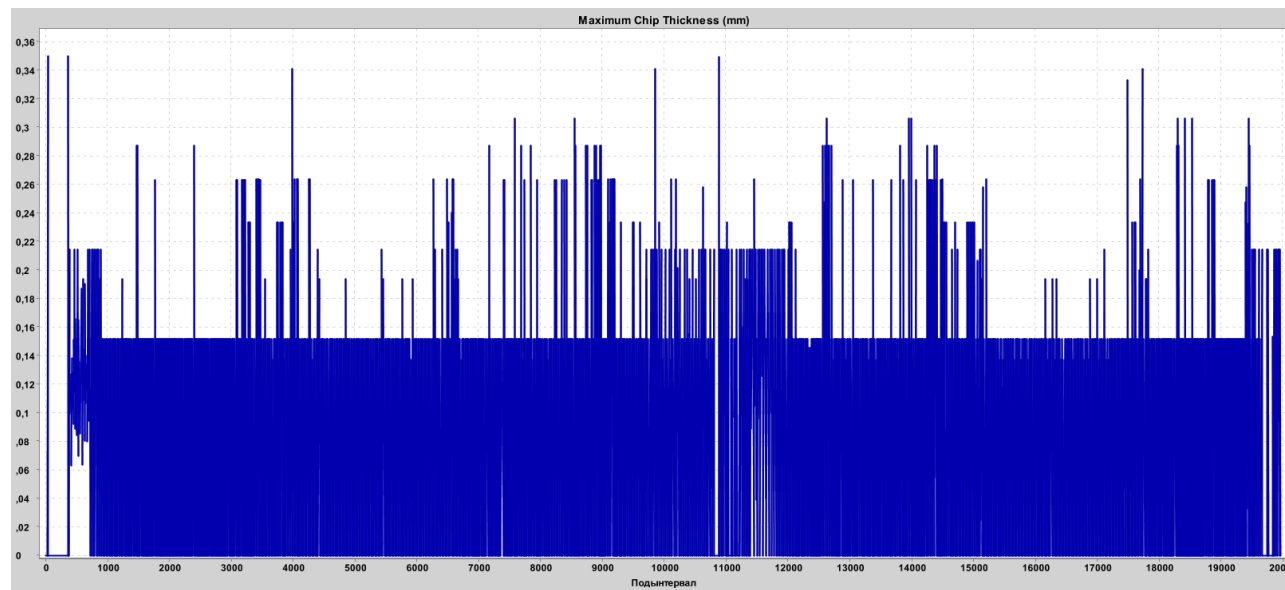


Высокоскоростная обработка с прим. Imachining

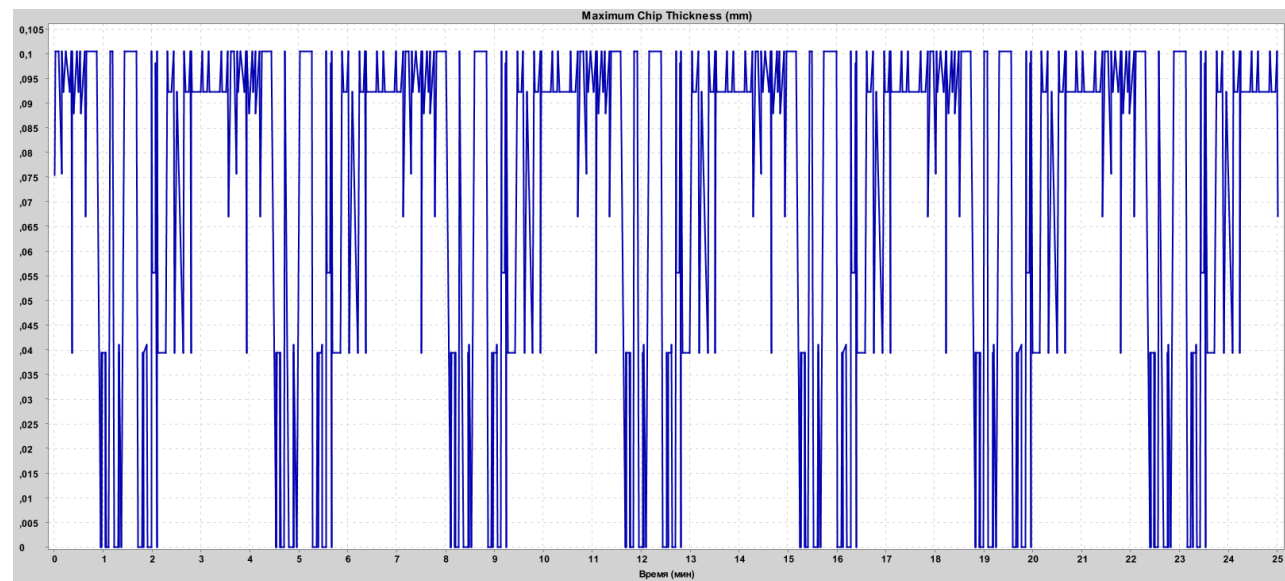


Традиционная обработка

Рисунок 22 – Графики объема снимаемой стружки материала 12Х18Н10Т



Высокоскоростная обработка



Традиционная обработка

Рисунок 23 – Графики толщины стружки материала 12X18H10T

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
4AM81	Кукта Ярославу Сергеевичу

Школа		Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование высокоскоростной обработки металлов на станках с ЧПУ	
Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:	
1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих.</i>	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами по городу Томску. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ».
2. <i>Нормы и нормативны расходования ресурсов.</i>	– районный коэффициент 1,3; – коэффициент доплат 0,1; – коэффициент накладных расходов 0,8.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.</i>	Отчисления во внебюджетные фонды 30,2 %
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ.</i>	Анализ конкурентных технических решений, оценка готовности проекта к коммерциализации
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта.</i>	Определение целей и результатов проекта, организационной структуры проекта
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок.</i>	Формирование плана и графика проекта: – Определение структуры работ; – Определение трудоемкости работ; – Разработка диаграммы Ганта. Формирование бюджета затрат проекта.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности.</i>	Расчет интегрального показателя эффективности
Перечень графического материала:	
Оценка конкурентоспособности технических решений Диаграмма FAST Матрица SWOT Диаграмма Ганта Бюджет НТИ Потенциальные риски	

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	19.02.2020
---	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Рыжакина Т.Г.	к.э.н.		19.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Кукта Ярослав Сергеевич		19.02.2020

3.1 Предпроектный анализ. Потенциальные потребители результатов исследования

Целью раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта по применению высокоскоростной обработки материалов на станках с ЧПУ. Высокоскоростные траектории могут быть использованы в единичном, мелкосерийном, серийном и массовом машиностроительных производствах. Технология способствует увеличению срока службы инструмента и уменьшения времени механической обработки.

Потенциальным потребителем результатов исследования может являться любое машиностроительное предприятие, обладающее станочным парком станков с ЧПУ. Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование. Сегментирование – это разделение покупателей на однородные группы, для каждой из которых может потребоваться определенный товар (услуга).

Таблица 9 – Карта сегментирования рынка

		Потенциальные отрасли использования технологии высокоскоростной обработки		
		Авиационное	Машиностроение	Инструментальное производство
Характеристики	Повышение эффективности оборудования и инструмента	X	X	X
	Сокращение машинного времени	X	X	X
	Высокая производит. мех. обработки	X	X	X

Продолжение Таблица 9

	Снижение себестоимости	X	X	X
	Доступность	X	X	X

Как видно из карты сегментирования, основными сегментами данного рынка является авиастроение, машиностроение и инструментальное производство, где являются основные предпосылки сокращения машинного времени и повышение эффективности производства.

3.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научной разработки и определить направления для ее будущего повышения.

Основным конкурентом является классическая траектория обработки деталей. Данная обработка широко применяется в современном машиностроении в силу своей простоты и доступности. Классическая обработка состоит из многочисленных ходов врезания и выходов инструмента.

Таблица 10 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		Б _ф	Б _к	К _ф	К _к
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Повышение производительности труда	0,1	5	4	0,5	0,4
Удобство в эксплуатации	0,1	4	4	0,5	0,4
Простота в эксплуатации	0,1	4	5	0,4	0,5

Продолжение Таблица 10

Энергоэкономичность	0,15	3	2	0,45	0,3
Надежность	0,08	3	4	0,24	0,32
Уровень шума	0,05	2	2	0,1	0,1
Безопасность	0,08	4	4	0,3	0,32
Экономические критерии оценки					
Конкурентоспособность	0,09	5	5	0,45	0,45
Уровень проникновения на рынок	0,1	4	4	0,4	0,4
Цена	0,05	5	3	0,5	0,5
Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	5	2	0,5	0,2
ИТОГО	1	44	39	4,0	3,54

Как видно из таблицы, по техническим критериям обе траектории имеют достаточно равные параметры. При этом траектории высокоскоростной обработки выигрывают по производительности труда и незначительно проигрывают в надежности. Однако, по экономическим критериям высокоскоростная обработка оказывается лучше конкурента. У нее более длительный срок эксплуатации и ниже цена.

Из всего этого можно сделать вывод, что высокоскоростная обработка является более доступной и ее использование на предприятии экономически более оправдано.

3.3 Fast-анализ

FAST-анализ выступает как синоним функционально-стоимостного анализа. Суть этого метода базируется на том, что затраты, связанные с созданием и использованием любого объекта, выполняющего заданные функции, состоят из необходимых для его изготовления и эксплуатации и дополнительных, функционально неоправданных, излишних затрат, которые

возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению объекта, или связаны с несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

В качестве объекта FAST-анализа выступает ВСО. Описание главной, основных, и вспомогательных функций представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Описание главной, основных, и вспомогательных функций

Наим. процесса	Кол-во деталей на узел	Выполняемая функция	Ранги функции		
			Глав.	Основ.	Вспом.
Управляющая программа для станка с ЧПУ	—	Основная программа для получения заданной детали	X		
Разработка программы	1	Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем		X	
Режущий инструмент	1	Съем материала		X	
Режимы резания	2	Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка		X	
Наладка оборудования	1	Нахождение ошибок и их исправление			X

Для оценки значимости функций будем использовать метод расстановки приоритетов, предложенный Блумбергом В.А. и Глущенко В.Ф. В основу данного метода положено расчетно-экспертное определение значимости каждой функции.

Таблица 12 – Матрица смежности функций

		1	2	3	4
1	Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем	=	>	>	>
2	Съем материала	>	=	<	<
3	Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка	=	>	=	>
4	Нахождение ошибок и их исправление	<	<	<	=

Таблица 13 – Матрица количественных соотношений функций

		1	2	3	4	Итог
1	Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем	1	1,5	1,5	1,5	5,5
2	Съем материала	1,5	1	0,5	0,5	3,5
3	Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка	1	1,5	1	1,5	5
4	Нахождение ошибок и их исправление	0,5	0,5	0,5	1	2,5
ИТОГО						16,5

Определяем значимость каждой функции.

Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем:

$$5,5/16,5 = 0,33.$$

Съем материала:

$$3,5/16,5 = 0,21.$$

Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка:

$$5/16,5 = 0,3.$$

Нахождение ошибок и их исправление:

$$2,5/16,5 = 0,15.$$

Таблица 14 – Определение стоимости функций, выполняемых объектом

Наим.	Количество	Выполняемая функция	Норма расхода	Трудоемкость	Стоим. мат-ала	Зар. плата	Себестоимость
			кг	н-час	руб.	руб.	руб.
Управляющая программа для станка с ЧПУ	–	Основная программа для получения заданной детали	–	–	–	–	–
Разработка программы	1	Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем	–	2	300	360	660
Режущий инструмент	1	Съем материала	–	2	2000	290	2290
Режимы резания	2	Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная обработка	–	0,5	150	180	330
Наладка программы	1	Нахождение ошибок и их исправление	–	1	150	180	330
ИТОГО							3610

Определим относительные затраты на функцию.

Написание программы для станка при помощи CAD-CAM систем:

$$660/3610 = 0,18.$$

Съем материала:

$$2290/3610 = 0,63.$$

Равномерное распределение нагрузки на инструмент и качественная

обработка:

$$330/3610 = 0,09.$$

Нахождение ошибок и их исправление:

$$330/3610 = 0,09.$$

Информация об объекте, собранная в рамках предыдущих стадий, обобщается в виде функционально-стоимостной диаграммы.

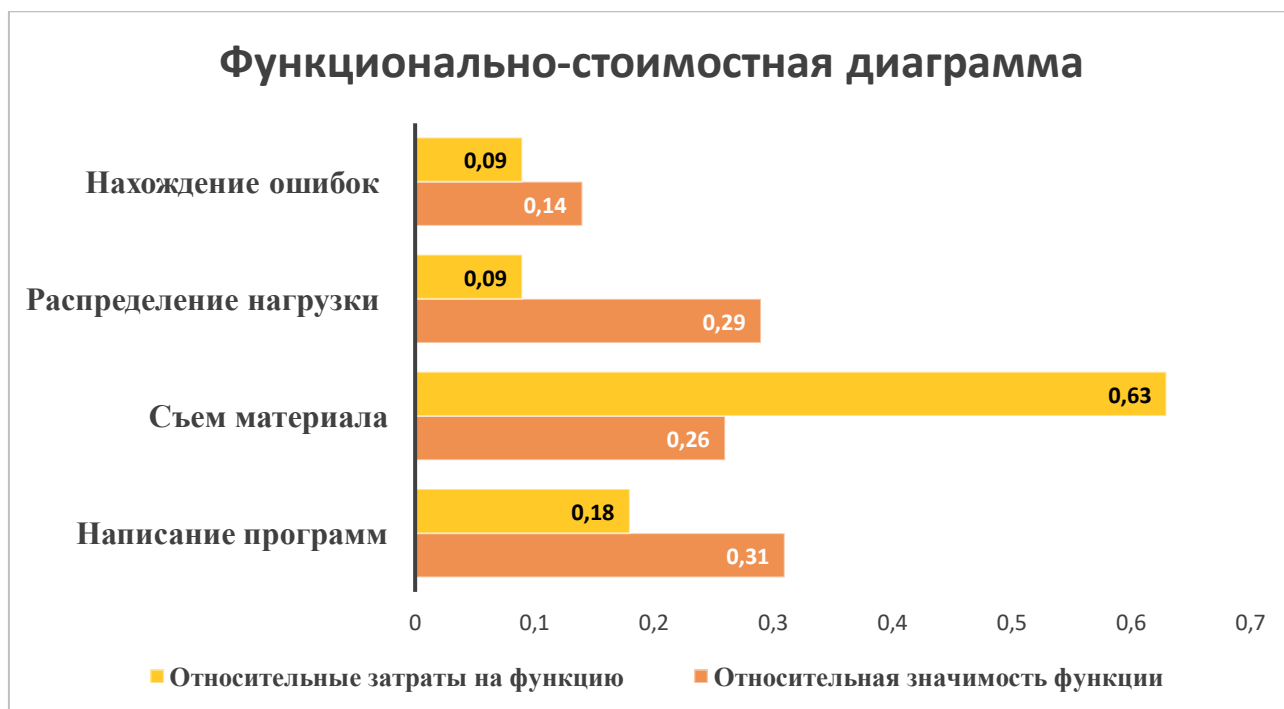


Рисунок 24 – Функционально-стоимостная диаграмма

Согласно вышеприведенной диаграмме, видно рассогласование по 1, 2, 3, 4 пунктам.

Для оптимизации функций можно предложить следующие шаги: 1) оптимизация технических параметров; 2) применение новых техпроцессов, оборудования и инструмента; 3) оптимизации параметров надежности.

В конечном счете результатом проведения FAST-анализа высокотехнологической и ресурсоэффективной разработки должно быть снижение затрат на единицу полезного эффекта, достигаемое путем: 1) сокращения затрат при одновременном повышении потребительских свойств объекта; 2) повышения качества при сохранении уровня затрат; 3) уменьшения

затрат при сохранении уровня качества; 4) сокращения затрат при обоснованном снижении технических параметров до их функционально необходимого уровня; 5) повышения качества при некотором, экономически оправданном увеличении затрат.

3.4 SWOT-анализ

Для проведения комплексного анализа проекта воспользуемся SWOT-анализом. Он проводится в несколько этапов. На первом этапе определяются сильные и слабые стороны проекта, а также выявляются возможности и угрозы для реализации проекта.

Таблица 15 – Матрица SWOT

Strengths (сильные стороны)	Weaknesses (слабые стороны)
С1. Высокая производительность обработки. С2. Равномерная нагрузка на инструмент. С3. Минимальное количество ускоренных перемещений. С4. Увеличение срока службы инструмента.	Сл1. Дорогое программное обеспечение. Сл2. Приобретение качественной оснастки. Сл3. Высококвалифицированный программист.
Opportunities (возможности)	Threats (угрозы)
В1. Обработка крупногабаритных деталей, корпусных деталей с труднодоступными местами. В2. Обработка с высокой скоростью и сохранение высокой точности. В3. Постепенное внедрение в производство.	У1. Неготовность предприятий перейти на новые способы обработки. У2. Нехватка специалистов. У3. При переходе на данную технологию предприятиям понадобится закупка нового оборудования.

Таблица 16 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	B1	+	+	+	+
	B2	+	+	+	+
	B3	-	0	0	-

Таблица 17 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	B1	+	+	+
	B2	+	0	+
	B3	+	0	+

Таблица 18 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		C1	C2	C3	C4
	Y1	-		-	-
	Y2	-	-	-	-
	Y3	+	+	+	+

Таблица 19 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		C1	C2	C3
	Y1	+	+	+
	Y2	+	+	+
	Y3	+	+	+

Таблица 20 – Итоговая матрица SWOT

	Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
	<p>С1. Высокая производительность обработки.</p> <p>С2. Равномерная нагрузка на инструмент.</p> <p>С3. Минимальное количество ускоренных перемещений.</p> <p>С4. Увеличение срока службы инструмента.</p>	<p>Сл1. Дорогое программное обеспечение.</p> <p>Сл2. Требуется дополнительная оснастка.</p> <p>Сл3. Проф. программист.</p>
Возможности		
<p>В1. Обработка крупногабаритных деталей, корпусных деталей с труднодоступными местами.</p> <p>В2. Обработка с высокой скоростью и сохранение высокой точности.</p> <p>В3. Постепенное внедрение в производство.</p>	<p>В1 С1 С2 С3 С4</p> <p>В2 С1 С2 С3 С4</p>	<p>В1 Сл1 Сл2 Сл3</p> <p>В2 Сл1 Сл2 Сл3</p> <p>В3 Сл1 Сл2 Сл3</p>
Угрозы		
<p>У1. Неготовность предприятий перейти на новые способы обработки.</p> <p>У2. Нехватка специалистов.</p> <p>У3. При переходе на данную технологию предприятиям понадобится закупка нового оборудования.</p>	<p>У3 С1 С2 С3 С4</p>	<p>У1 Сл1 Сл2 Сл3</p> <p>У2 Сл3</p> <p>У3 Сл1 Сл2 Сл3</p>

3.5 Инициация проекта

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы.

Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта.

3.6 Цели и результат проекта

В данном разделе необходимо привести информацию о заинтересованных сторонах проекта, иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 21 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Исполнитель (магистрант)	Магистерская диссертация
Руководитель проекта	Исследование высокоскоростной обработки материалов

В таблице представлена информация о иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 22 – Цели и результаты проекта

Цели проекта	Исследование высокоскоростной обработки материалов
Ожидаемые результаты проекта	Получение результатов обработки
Критерии приемки результата проекта	Эффективная и работоспособная траектория ВСО
Требования к результату проекта	Моделирование обработки
	Проведение эксперимента
	Оформленная магистерская диссертация

3.7 Организационная структура проекта

На данном этапе работы решены следующие вопросы: кто входит в рабочую группу данного проекта, определена роль каждого участника в данном проекте, а также прописаны функции, выполняемые каждым из участников и их трудозатраты в проекте. Эту информация представлена в таблице.

Таблица 23 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час
1	Кукта Я.С., магистрант отд. материаловедения	Исполнитель	Моделирование траектории. Испытание траектории. Составление отчета.	1968
2	Сорокова С.Н., НИ ТПУ, к.т.н., доцент	Руководитель, эксперт	Консультация по теоретической части проекта. Помощь в изучении ПО и написании программы. Помощь в проведении анализа испытания и оформлении отчета.	130
ИТОГО				2344

3.8 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта.

Таблица 24 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	Бюджет проекта 4000 руб.
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта	19.02.2020-11.06.2020
Дата утверждения плана управления проектом	19.02.2020

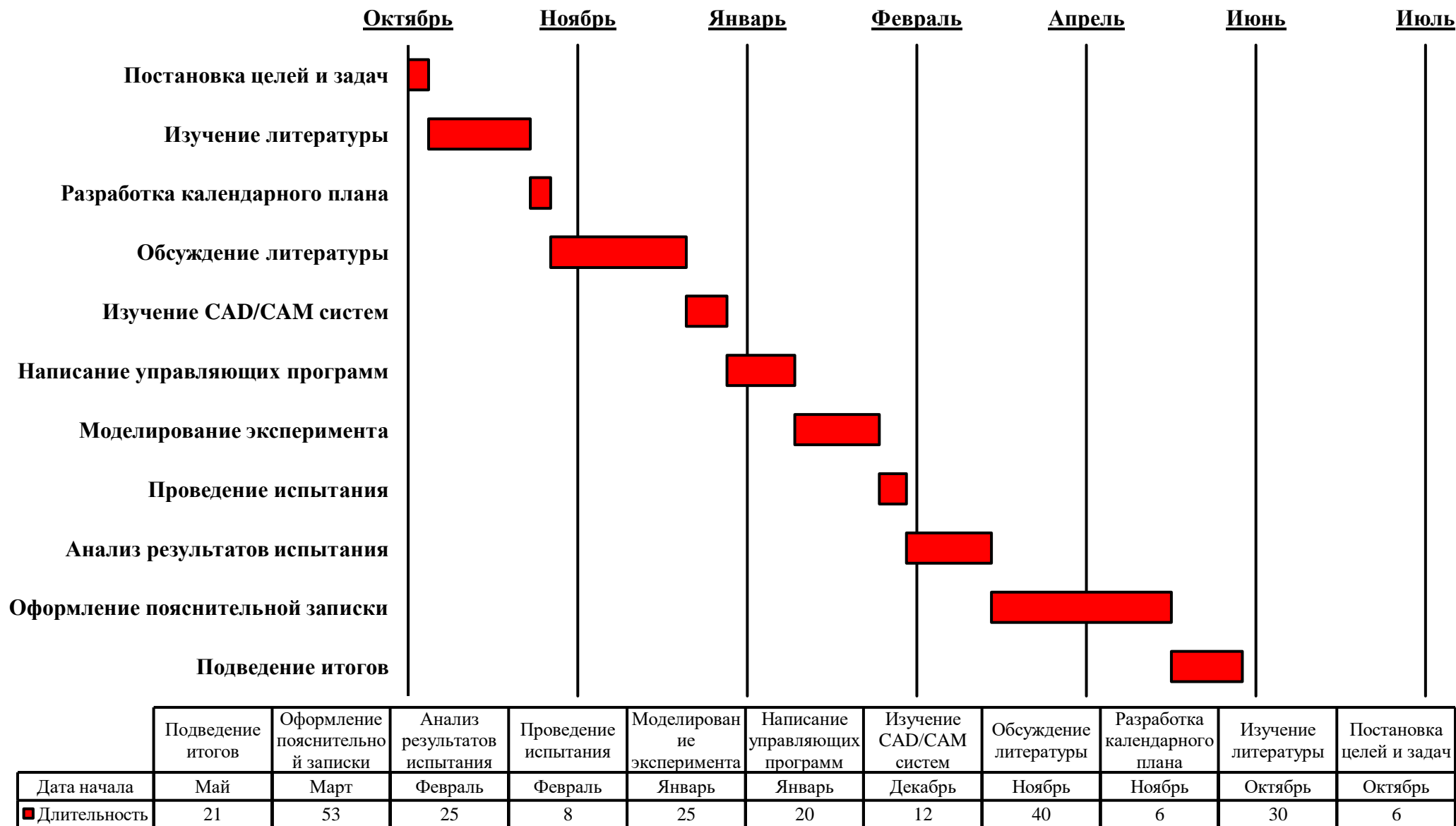
3.9 План проекта

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный и сетевой графики проекта. Календарный график представляется в виде таблицы 25.

Таблица 25 – Календарный план проекта

№ п/п	Название	Длит., дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Определение актуальности проекта	6	10.10.19	13.10.19	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
2	Изучение литературы	30	16.10.19	16.11.19	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
3	Разработка календарного плана	6	17.11.19	20.11.19	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
4	Обсуждение литературы	40	25.11.19	15.12.19	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
5	Изучение CAD-САМ систем	12	16.12.19	29.12.20	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
6	Написание управляющих программ	20	11.01.20	31.01.20	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
7	Моделирование эксперимента	25	01.02.20	16.02.20	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
8	Проведение эксперимента	8	19.02.20	23.02.20	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
9	Анализ испытания результатов	25	05.03.20	31.03.20	Кукта Я.С
10	Оформление пояснительной записки	53	02.04.20	25.05.20	Кукта Я.С
11	Подведение итогов	21	28.05.20	10.06.20	Сорокова С.Н. Кукта Я.С.
ИТОГО ИСПОЛНИТЕЛЬ					246
ИТОГО РУКОВОДИТЕЛЬ					47

Календарный план-график проведения НИОКР



3.10 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям.

В эту статью включаются затраты на приобретение всех видов материалов, комплектующих изделий и полуфабрикатов, необходимых для выполнения работ по данной теме. Количество потребных материальных ценностей определяется по нормам расхода.

Таблица 26 – Сырье, материалы, комплектующие изделия

Наименование	Размер, мм	Кол-во, шт. (кг)	Цена за единицу (кг), руб.	Сумма, руб.
Тверд. концевая фреза D12	12	1	2000	2000
Тверд. концевая фреза D12	12	1	2000	2000
12X18H10T	Круг 150×45	2,8	1990	1990
Всего за материалы				7007
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%)				299,5
ИТОГО				6289,5

Таблица 27 – Основная и дополнительная заработная плата

Испол.	З _б	К _{пр}	К _д	К _р	З _м	З _{дн}	Т _{раб}	З _{осн}	К _д	З _{доп}
	руб.	-	-	-	руб.	руб.	р.дн.	руб.	руб.	руб.
Руков.	25000	1	0,1	1,3	35750	1625	47	76375	0,1	7637,5
Испол.	12000	1	0,1	1,3	17160	780	246	191880	0,1	19188
Итого, руб.								268255		26825,5

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды. Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды составляет 30,2%.

$$C_{\text{внеб}} = K_{\text{внеб}}(Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,302 \cdot 295\,080,5 = 89\,114,31 \text{ руб.}$$

3.11 Накладные расходы

Накладные расходы составляют 80-100% от суммы основной и дополнительной заработной платы работников, непосредственно участвующих в выполнении задания.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$C_{\text{накл}} = K_{\text{накл}}(З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}});$$

где: $K_{\text{накл}}$ – коэффициент накладных расходов.

Таблица 28 – Накладные расходы

Исполнитель	Основная зар. плата, руб.	Дополнительная зар. плата, руб.	Накладные расходы, руб.
Руководитель	76 375	7 637,5	67 210
Исполнитель	191 880	19 188	168 854,4
Итого, руб.			236 064,4

Таблица 29 – Полная смета затрат

Наименование статей затрат	Сумма, руб.
Сырье, материалы	6 289,50
Основная заработная плата	268 255,00
Дополнительная заработная плата	26 825,50
Отчисления на социальные нужды	89 114,31
Накладные расходы	236 064,40
ИТОГО	626 548,71

3.12 Общие итоги финансирования и расходов

Итоговая плановая себестоимость составила 626548.71 рублей, финансирование составило 4000 рублей. Посчитаем разницу:

$$626548,71 - 4000 = 622548,71 \text{ руб.}$$

Разница составляет 622548,71 рублей, расходы превышают поступления.

3.13 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности. Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход;

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта;

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Таблица 30 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Инженер (магистрант)	Руководитель проекта
Постановка целей и задач	И	О
Изучение литературы	И	О
Разработка календарного плана	И	О
Обсуждение литературы	И	О
Изучение CAD-CAM систем	И	О
Написание управляющих программ	И	О
Моделирование эксперимента	И	О
Проведение эксперимента	И	О
Анализ испытания результатов	И	У
Оформление пояснительной записки	И	У
Подведение итогов	И	О

3.14 Оценка экономической эффективности проекта

Актуальным аспектом качества выполненного проекта является экономическая эффективность его реализации, т.е. соотношение обусловленного ей экономического результата (эффекта) и затрат на разработку проекта. Так как последние являются единовременными, то мы имеем дело с частным случаем

задачи оценки экономической эффективности инвестиций, т.е. вложением денежных средств в предприятие, организацию, отраслевую, региональную социально-экономическую систему и т.п. с целью получения определенного результата в будущем. Отличительными особенностями инвестиций, особенно когда речь идет о вложениях в нематериальные активы в форме НИР являются:

результат может быть получен в течение ряда последующих лет в общем случае – на протяжении жизненного цикла создаваемой системы;

результаты инвестиций содержат элементы риска и неопределенности;

связывание на некоторое время финансовых средств инвестора.

Однако в данной работе провести оценку экономической эффективности проекта не представляется возможным.

3.15 Оценка научно-технического уровня НИР

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности, планируемых и выполняемых НИР, используется метод бальных оценок.

Сущность метода заключается в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент ее научно-технического уровня по формуле:

$$K_{НТУ} = \sum_{i=1}^3 R_i n_i ;$$

где: R_i – весовой коэффициент i -го признака научно-технического эффекта;

n_i – количественная оценка i -го признака научно-технического эффекта, в баллах.

Таблица 31 – Сводная таблица оценки научно-технического уровня НИР

Фактор НТУ	Значимость	Уровень фактора	Выбранный балл	Обоснование выбранного балла
Уровень новизны	0,5	Относительно новая	3	Систематизация данных о различных видах траектории обработки, формирование рекомендаций по выбору параметров режимов резания и выбора траектории обработки.
Теоретический уровень	0,1	Элементарный анализ связей между фактами	2	Углубленное изучение CAD-CAM систем для написания ВСО траектории. Рекомендации по настройке управляющих программ.
Возможность реализации	0,4	От 5-10 лет	4	Проведен эксперимент. Проведена аналитика полученных данных. Сделаны выводы.

Из сводной таблицы оценки научно-технического уровня НИР можно сделать вывод, что несмотря на невысокий теоретический уровень и отсутствия принципиально новой информации, высокоскоростная стратегия обработки на станках ЧПУ показала неплохие результаты. Но для внедрения в производство необходимы дополнительные испытания, а также не все предприятия готовы к нововведениям и затратам на их освоения.

Исходя из оценки признаков НИОКР, показатель научно-технического уровня для данного проекта составил:

$$K_{НТУ} = 0,5 \cdot 3 + 0,1 \cdot 2 + 0,4 \cdot 4 = 3,3.$$

Таким образом данное исследование имеет уровень ниже среднего научно-технического эффекта.

3.16 Реестр риска проектов

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Таблица 32 – Реестр риска проектов

№ п/п	Риск	Потен. воздей.	Вер. наст.	Влия	Ур.	Способы смягчения	Условия наст.
1	Постав. мат-ала	Срыв поставок	2	2	Низкий	Найти над. постав.	Истечение срока договора
2	Эконом.	Сниж. финан.	3	3	Средний	Найти материалы по низкой цене	Кризис
3	Технич.	Изм. технол. обраб.	3	3	Средний	Применение более унив. обор.	Изменение траектории

3.17 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\phi}^p = \Phi_i / \Phi_{\max};$$

где: Φ_i – стоимость i -го варианта исполнения, руб.;

Φ_{\max} – максимальная стоимость исполнения научно- исследовательского проекта, руб.

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_m^a = \sum_{i=1}^n a_i b_i^a;$$

где: a_i – весовой коэффициент i -го параметра;

b_i^a – бальная оценка i -го параметра для аналога и разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности рекомендуется проводить в форме таблицы, пример которой приведен ниже.

Таблица 33 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения

	Весовой коэффициент параметра	Текущий проект	Аналог
Способствует росту производительности труда пользователя	0,25	5	4
Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,2	4	5
Помехоустойчивость	0,1	2	2
Энергосбережение	0,1	2	1
Надежность	0,1	2	5
Материалоемкость	0,25	4	3
ИТОГО	1	21	20

$$I_{\text{ТП}} = 9 \cdot 0,25 + 4 \cdot 0,2 + 6 \cdot 0,1 = 3,85;$$

$$I_{\text{Аналог}} = 7 \cdot 0,25 + 5 \cdot 0,2 + 8 \cdot 0,1 = 3,55.$$

Интегральный показатель эффективности разработки ($I_{\text{фин}}^p$) и аналог ($I_{\text{фин}}^a$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{фин}}^p = I_m^p / I_{\text{ф}}^p; \quad I_{\text{фин}}^a = I_m^a / I_{\text{ф}}^a.$$

Сравнение интегрального показателя эффективности текущего проекта и аналогов позволит определить сравнительную эффективность проекта.

Сравнительная эффективность проекта:

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = I_{\text{фин}}^p / I_{\text{фин}}^a.$$

Таблица 34 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Аналог	Разработка
1	Интегральный финансовый показатель	1,14	0,92
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности	3,55	3,85
3	Интегральный показатель эффективности	4,69	4,77
4	Сравнительная эффективность исполнения	1,01	

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах, т.к. значение меньше единицы, но больше нуля.

При сравнении значений интегральных показателей эффективности разработки и аналога, можно сказать, что более эффективным решением является использование высокоскоростной обработки.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ81	Кукта Ярославу Сергеевичу

Школа		Отделение (НОЦ)	Материаловедения
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

Исследование высокоскоростной обработки металлов на станках с ЧПУ	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения.	Объект исследования является участок цеха, в котором производится обработка детали, а также содержащиеся в цеху сопутствующее оборудование.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность: 1.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 1.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Подвижные части производственного оборудования. Опасность поражения электрическим током. Повышенная запыленность и загазованность воздуха, рабочей зоны. Повышенный уровень шума на рабочем месте. Повышенный уровень вибрации. Недостаточная освещенность рабочей зоны.
2. Экологическая безопасность:	Влияние деятельности на ОС: атмосферы, гидросферу, литосферу. Наличие отходов (металлическая стружка, СОЖ) потребовали способов утилизации отходов
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Рассмотрены две ситуации ЧС: 1) Природная – сильные морозы 2) Техногенная – большая вероятность проведения диверсии
4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Приведены перечень НТД, используемых в данном разделе, схема эвакуации при пожаре, схема размещения светильников на потолке согласно произведенным расчетам

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	19.02.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Сечин А.И.	д.т.н.		19.02.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ81	Кукта Ярослав Сергеевич		19.02.2020

4 Социальная ответственность

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места инженера-технолога в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

Вопросы производственной и экологической безопасности рассматриваются на основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований по эффективности высокоскоростных стратегий при удалении значительных объемов материала в сравнении с классическими методами и условия их применения. Все исследования, связанные с данной работой, производились на базе НИ ТПУ. В ходе экспериментальных исследований использовался фрезерный обрабатывающий центр. Полученные результаты эксперимента обрабатывались на ПК.

Производственная среда, организация рабочего места должны соответствовать общепринятым и специальным требованиям техники безопасности, эргономики, экологической и пожарной санитарии.

4.1 Производственная безопасность

4.1.1 Анализ условий труда на рабочем месте

Рабочее место располагается на 1 этаже 16 А корпуса НИ ТПУ, помещение представляет собой комнату размером длиной 8 м на 6 м, высотой 3,5 м, 3 окнами, выходящими на север и восток. В помещении находится 2 технологического оборудования.

Работа производилась на 3х-координатном фрезерном станке, при работе на котором существует ряд вредных и опасных производственных факторов. В работе был задействован станок: вертикально обрабатывающий центр с ЧПУ DMC 650V.

Таблица 35 – Анализ условий труда

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1) Испол. станка с ЧПУ 2) Испол. ПВМ	<p>1. Повышенный уровень вибрации</p> <p>2. Недостаточная освещенность рабочей зоны, наличие прямой и отраженной блескости, повышенная пульсация светового потока</p> <p>3. Пониженная влажность воздуха</p> <p>4. Абразивная пыль, мелкая стружка и аэрозоли смазочно-охлаждающей жидкости</p> <p>5. Высокий уровень электромагнитных излучений</p> <p>6. Статическое положение тела в течение длительного времени</p> <p>7. Монотонность работы</p>	<p>1. Электрический ток</p> <p>2. Короткое замыкание</p> <p>3. Движущиеся машины и механизмы, передвигающиеся изделия, заготовки и материалы</p> <p>4. Высокая температура поверхности обрабатываемых деталей и инструмента</p>	<p>ТОИ Р-15-050-97 «Типовая инструкция по охране труда для станочников металлообрабатывающих станков (токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные, заточные станки)».</p> <p>ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.</p> <p>СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение</p> <p>ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.</p> <p>СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.</p>

Продолжение Таблица 35

			<p>СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</p>
--	--	--	---

4.1.2 Анализ показателей шума и вибрации

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должно превышать 80 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства коллективной защиты: 1) устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования; 2) изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения; 3) применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения; Плотные тяжелые воздухонепроницаемые материалы

(сталь, свинец, бетон, каменная или кирпичная кладка, толстое стекло и т. п.); 4) хорошо изолируют звуки, распространяющиеся по воздуху.

Средства индивидуальной защиты: применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

4.1.3 Анализ показателей микроклимата

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха, а также температуры окружающих поверхностей. Оптимальные микроклиматические условия обеспечивают общее и локальное ощущение теплового комфорта в течение 8-часовой рабочей смены, не вызывают отклонений в состоянии здоровья и создают предпосылки для высокой работоспособности.

Состояние микроклимата должно соответствовать допустимым нормам по ГОСТ 12.1.005-88.

Метеорологические условия в производственных условиях определяются следующими параметрами: температура воздуха t , °С; относительная влажность воздуха ϕ , %; скорость движения воздуха на рабочем месте v , м/с.

Движение воздуха в помещениях является важным фактором, влияющим на тепловое самочувствие человека. В жарком помещении движение воздуха способствует увеличению отдачи теплоты организмом и улучшает его состояние, но оказывает неблагоприятное воздействие при низкой температуре воздуха в холодный период года.

По тяжести работ оператор относится к категории 2а. Параметры микроклимата не должны выходить за рамки допустимых значений (Таблица 36 – Параметры микроклимата)

Таблица 36 – Параметры микроклимата

Период года	Категория	Температура, С°		Влажность, %		Скорость воздуха, м/с	
		Фак.	Доп.	Фак.	Доп.	Фак.	Доп.
Теплый	2а	22	18-27	62	65	0,15	0,2
Холодный	2а	19	17-23	55	<75	0,1	0,2

На проектируемом участке показания замеров микроклимата не превышает допустимых пределов и обеспечивается за счет следующего:

В холодный период года – применение водяного отопления; в теплый период – искусственной вентиляции.

При анализе вредных выделений на участке выявлены следующие вредные вещества: масло минеральное, окись железа.

На проектируемом участке концентрация загрязняющих элементов соответствует санитарным нормам ПДК по ГОСТ 12.1.005-88. Очистка воздуха от загрязнения осуществляется с помощью фильтров и приточной – вытяжной вентиляции.

Таблица 37 – Результаты замеров вредных выделений

Наименование вещества	Макс.	Номин.	ПДК	Класс опасности	Агрегатное состояние
Окись железа	3,6	3,2	6	4	Аэрозоль
Масла минеральные	2,1	1,9	5	3	Аэрозоль

4.1.4 Анализ освещенности рабочей зоны

Освещение рабочего места – важнейший фактор создания нормальных условий труда. Согласно санитарно-гигиеническим требованиям рабочее место оператора должно освещаться как естественным, так искусственным освещением. Естественное освещение проникает в помещение через два больших окна в светлое время суток. Естественное освещение по своему спектральному составу является наиболее приемлемым. Искусственное же отличается относительной сложностью восприятия его зрительным органом человека.

Недостаточная освещенность рабочего места не только уменьшает остроту зрения, но и вызывает утомление организма в целом, что приводит к снижению производительности труда и увеличению опасности заболеваний человека. Поэтому с целью обеспечения требуемых норм освещенности необходимо произвести расчет искусственной освещенности. Для расчета общего равномерного освещения при горизонтальной рабочей поверхности основным является метод светового потока (коэффициента использования), учитывающий световой поток, отраженный от потолка и стен. При работе с персональным компьютером в сочетании с работой с нормативной и технической документацией, согласно нормам, СНиП 23-05-95 в помещении, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего освещения не должна быть ниже 150 лк.

Световой поток создаваемый каждой из ламп рассчитывается по формуле:

$$\Phi_p = \frac{ESzk}{n\eta};$$

где: E – минимальная освещенность, лк, $E = 150$ лк;

S – площадь помещения, м², $S = 48$ м²;

z – поправочный коэффициент, $z = 1,1$;

k – коэффициент запаса, $k = 1,5$;

η – коэффициент использования осветителей, %;

n – число светильников в помещении, шт.

Выбираем лампу ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{\text{лд}} = 2300$ лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 1227 мм, ширина – 265 мм.

Коэффициент использования может быть определен по известному индексу помещения (i), рассчитанный по выражению:

$$i = \frac{AB}{h(A + B)};$$

где: A – длина помещения, м, $A = 6$ м;

B – ширина помещения, м, $B = 8$ м.

Для соответствующих размеров аудитории со светлым потолком и стенами, оклеенными светлыми обоями, согласно методическим указаниям, примем коэффициенты отражения от стен $\rho_c = 50 \%$ и потолка $\rho_n = 70 \%$.

По формуле определим расчетную высоту подвеса светильников над рабочей поверхностью:

$$h = H - h_p - h_c;$$

где: h_p – расстояние от пола до рабочей поверхности стола, м, $h_p = 0,8$ м;

h_c – расстояние от потолка до светильника, м, $h_c = 0,1$ м;

H – высота потолка в помещении, м, $H = 3,5$ м.

Из расчетов следует, что $h = 2,6$ м, тогда:

$$i = \frac{6 \cdot 8}{2,6(6 + 8)} = 1,32.$$

По таблице коэффициентов использования светового потока для соответствующих значений i , ρ_c и ρ_n примем $\eta = 47\%$.

Для осуществления проверочного расчета с целью определения того, создает ли существующая система освещенности требуемую освещенность по СНиП 23-05, рассчитаем количество лампочек в помещении, выразив отношение из формулы:

$$n = \frac{150 \cdot 48 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{2300 \cdot 0,47} = 10.$$

Общее число светильников: $n = 5$.

Размещаем светильники в 3 ряда.

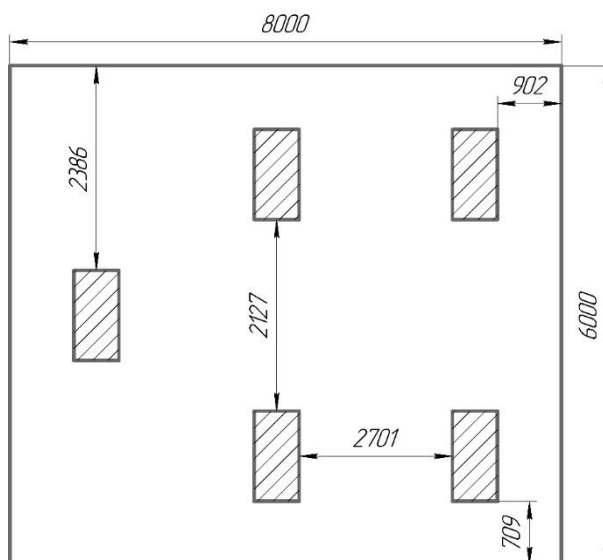


Рисунок 25 – План размещения светильников в помещении

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$\frac{2}{3}L_1 + 2L_1 + 3 \cdot 265 = 8000 \text{ мм};$$

$$L_1 = 2701 \text{ мм.}$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$\frac{2}{3}L_2 + L_2 + 2 \cdot 1227 = 6000 \text{ мм};$$

$$L_2 = 2127 \text{ мм.}$$

Расчет светового потока группы люминесцентных ламп светильника определяется по формуле:

$$\Phi_p = \frac{ESzk}{n\eta} = \frac{150 \cdot 8 \cdot 6 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{10 \cdot 0,47} = 2527 \text{ лм.}$$

Проверяем выполнение условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{лд}} - \Phi_p}{\Phi_{\text{лд}}} 100\% \leq 20\%;$$

$$\frac{2300 - 2527}{2300} 100\% = -9,8\%.$$

Условие выполнено.

4.1.5 Анализ электробезопасности

Электробезопасность представляет собой систему организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статистического электричества. Лаборатория относится к II классу электроопасности – помещению с повышенной опасностью, которая характеризуется наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования – с другой. Фрезерный станок работает в сети с напряжением 380 В.

В помещении применяются следующие меры защиты от поражения электрическим током: недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения, все токоведущие части изолированы и ограждены.

Недоступность достигается путем их надежной изоляции, применения защитных ограждений (кожухов, крышек, сеток и т.д.), расположения токоведущих частей на недоступной высоте. Станки и оборудование оснащены заземлителями. Защитное заземление или зануление должно обеспечивать защиту людей от поражения электрическим током при прикосновении к металлическим нетоковедущим частям, которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции. Также должно быть соблюдено безопасное напряжение и безопасная величина тока для человека: $U = 36 \text{ В}$; $I = 0,1 \text{ А}$.

Средствами индивидуальной защиты от поражения электрическим током являются инструменты с ручками из изолирующего материала, специальные перчатки и обувь, а также дорожки и коврики.

4.2 Экологическая безопасность

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения – это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства. Охрану природы можно представить как комплекс государственных, международных и общественных мероприятий, направленных на рациональное использование природы, восстановление, улучшение и охрану природных ресурсов.

Технический прогресс постоянно увеличивает возможности воздействия на окружающую среду и создает предпосылки для возникновения экологических кризисов. Поэтому в настоящее время вопросы охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов имеют первостепенное значение.

Данная магистерская работа не представляет опасности для экологической обстановки, поскольку отсутствует использование токсичных материалов. Все операции являются сугубо механическими, без выделения вредных газов и веществ, однако, в процессе металлообработки снимается слой металлической стружки, которая должна правильно утилизироваться для переработки (переплавки). Стружку необходимо разделить на цветной и черный лом, спрессовать, упаковать и отправить на переплавку. Ртутные лампы сдать в соответствующую фирму на утилизацию. Смазочно-охлаждающую жидкость фильтровать и вернуть в цикл, взвеси собрать и сдать в строительную или дорожную промышленность в качестве инертного материала. Утилизация отработанных картриджей, бумаги, кабелей начинается с их сбора и последующей транспортировкой на предприятия, которые занимаются их утилизацией.

4.3 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная ситуация – это обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей.

Производственное помещение находится в городе Томск с резко-континентальным климатом. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т.д.) в данном городе отсутствуют. Возможными ЧС могут быть: природного характера – сильные морозы, техногенного характера – шпионаж, диверсия.

Критически низкие температуры могут привести к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае заморозки труб в помещении предусмотрены запасные электрообогреватели. Электропитание для обогревателей обеспечивает генератор. Данное оборудование хранится на складе и их техническое состояние постоянно проверяется.

ЧС, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными, однако, работы в данном случае все равно прекращаются. Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположений помещений и оборудования в помещениях, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица обязаны раз в полгода проводить тренировки по отработке действий на случай ЧС.

4.4 Пожарная безопасность

Пожарная безопасность предусматривает обеспечение безопасности людей и сохранения материальных ценностей предприятия на всех стадиях его жизненного цикла. Основными системами пожарной безопасности являются системы предотвращения пожара и противопожарной защиты, включая организационно-технические мероприятия.

Таблица 38 – Категория помещений по пожарной безопасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся в помещении
А – повышенная взрывопожарность	Горючие газы, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки не более 28 °С в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные парогазовоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа, и (или) вещества и материалы, способные взрываться и гореть при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом, в таком количестве, что расчетное избыточное давление взрыва в помещении превышает 5 кПа.
Б – повышенная взрывопожароопасность	Горючие пыли или волокна, легковоспламеняющиеся жидкости с температурой вспышки более 28 °С, горючие жидкости в таком количестве, что могут образовывать взрывоопасные пылевоздушные или паровоздушные смеси, при воспламенении которых развивается расчетное избыточное давление взрыва в помещении, превышающее 5 кПа.
В1-В4 – пожароопасность	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они находятся (обращаются), не относятся к категории А или Б.

Продолжение Таблица 38 – Категория помещений по пожарной безопасности

Г – умеренная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в горячем, раскаленном или расплавленном состоянии, процесс обработки которых сопровождается выделением лучистого тепла, искр и пламени, и (или) горючие газы, жидкости и твердые вещества, которые сжигаются.
Д – пониженная пожароопасность	Негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Пожарная профилактика – комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращение пожара, ограничение его распространения, а также на создание условий для успешного тушения пожара. Успех борьбы с пожаром во многом зависит от его своевременного обнаружения и быстрого принятия мер по его ограничению и ликвидации.

Помещение, в котором осуществляется процесс изготовления изделия, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории ВЗ.

Тем не менее, никогда не стоит забывать об опасности возникновения пожара. Среди организационных и технических мероприятий, осуществляемых для устранения возможности пожара, выделяют следующие меры: использование только исправного оборудования; проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности; назначение ответственного за пожарную безопасность помещения; отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ; курение в строго отведенном месте; содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

В зависимости от своего прямого назначения и предполагаемого класса пожара все огнетушители условно можно разделить на пять видов:

1. Жидкостные, или водные виды огнетушителей представляют собой противопожарные средства, предназначенные для тушения пожаров класса А (возгорание твердых веществ) и Б (горение жидких веществ). Они имеют вид

баллонов с маркировкой «ОВ» и содержат воду или раствор на водной основе, в состав которой входят химически активные вещества.

2. Порошковые устройства – это универсальные виды применяемых огнетушителей, которые можно смело использовать при тушении почти всех классов пожаров: А, Б, В (возгорание газообразных веществ) Они имеют установленную маркировку «ОП».

3. Газовые или углекислотные приспособления – это большая группа устройств, имеющих одну общую маркировку «ОУ». К ней относятся следующие виды огнетушителей: аэрозольные; углекислотно-бромэтиловые.

4. Воздушно-пенные огнетушители «ОВП» – это приборы, которые используются для подавления очагов возгорания материалов, склонных к длительному тлению, например, бумаги, угля, дерева и пластмассы. Кроме того, с помощью таких огнетушителей можно потушить пламя, возникшее на жидкостях, имеющих масляную основу, к примеру, нефть, масла и краски.

5. Воздушно-эмульсионные огнетушители «ОВЭ» – устройства, созданные для тушения пожаров классов А, Б и В. Их принцип действия основан на энергии сжатого воздуха, применяемый при подаче огнетушащей эмульсии на пламя. С помощью таких огнетушителей нельзя потушить возгорания, связанные с газообразными веществами (пропаном, аммиаком, бытовым газом), щелочноземельными металлами и горением хлопка и пироксилина.

В помещении необходимо иметь 2 огнетушителя марки ОП-5, исходя из размеров помещения, а также силовой щит, который позволяет мгновенно обесточить помещение. Огнетушители должны всегда содержаться в исправном состоянии, периодически осматриваться, проверяться и своевременно перезаряжаться. Желательно помещать на стенах инструкции по пожарной безопасности и план эвакуации в случае пожара. В случаях, когда не удастся ликвидировать пожар самостоятельно, необходимо вызвать пожарную охрану и покинуть помещение, руководствуясь разработанным и вывешенным планом эвакуации.

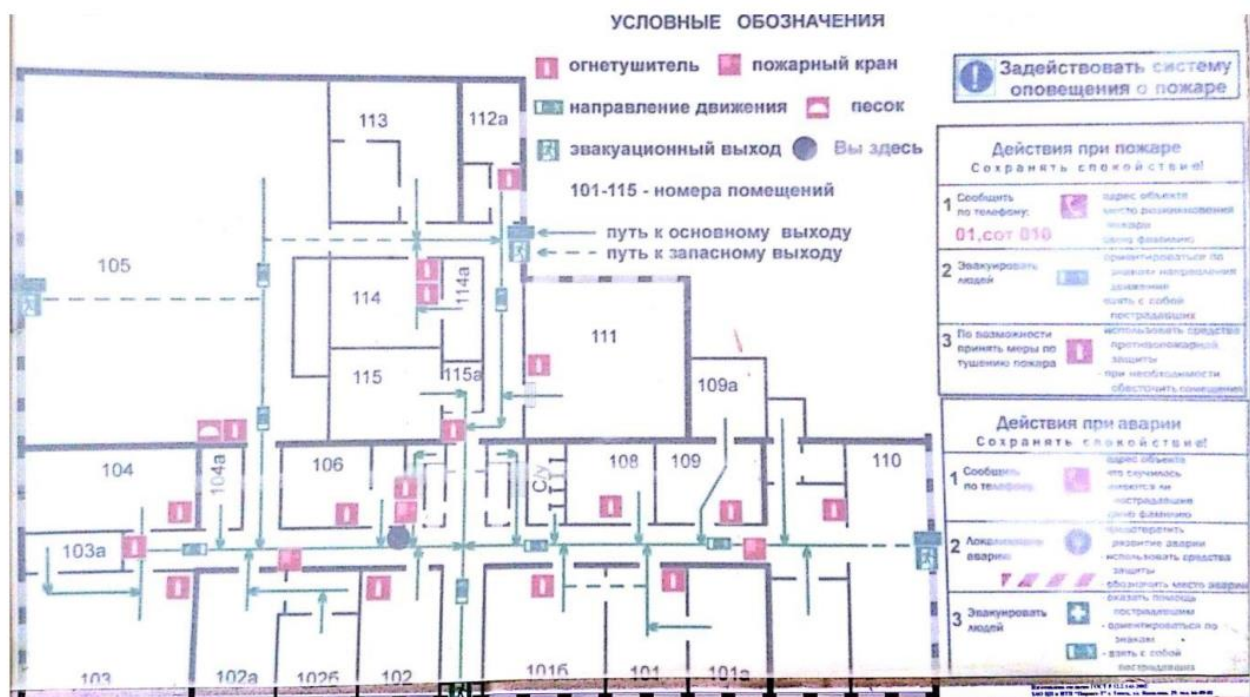


Рисунок 26 – План эвакуации НИ ТПУ 16 А корпуса

4.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

1. ОСТ 54 30013-83. Электромагнитные излучения СВЧ. Предельно допустимые уровни облучения. Требования безопасности.
2. ГН 2.2.5.1313-03. Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны.
3. СанПиН 2.2.4/2.1.8.055-96. Электромагнитные излучения радиочастотного диапазона (ЭМИ РЧ).
4. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
5. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
6. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
7. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
8. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
9. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования.
10. ГОСТ 12.2.037-78. Техника пожарная. Требования безопасности.
11. СанПиН 2.1.6.1032-01. Гигиенические требования к качеству атмосферного воздуха.
12. ГОСТ 30775-2001. Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.
13. СНиП 21-01-97. Противопожарные нормы.
14. СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение.
15. ТОИ Р-15-050-97. Типовая инструкция по охране труда для станочников металлообрабатывающих станков (токарные, фрезерные, сверлильные, строгальные, шлифовальные, заточные станки).

4.6 Выводы по разделу «Социальная ответственность»

При анализе производственного помещения, в которой выполнялись работы по использованию высокоскоростной обработке на станке с ЧПУ, было выявлено, что микроклимат в помещении соответствует нормам в теплое и холодное время года. В холодное время применяется водяное отопление, в теплый период – искусственная вентиляция. Значение светового потока составляет 2527 лм, что соответствует нормам. Также нормам соответствует уровень шума в помещении, который не превышает 80дБ. На участке концентрация загрязняющих элементов соответствует санитарным нормам ПДК про ГОСТ 12.1.005-88.

Были выявлены факторы производственной безопасности: повышенный уровень шума и вибрации, недостаточная освещенность рабочего места, пониженная влажность воздуха наличие мелкой стружки и т.д.

Помещение, в котором осуществляется процесс изготовления изделия, по взрывопожарной и пожарной опасности относится к категории Д: негорючие вещества и материалы находятся в холодном состоянии. Помещение оборудовано пожарной сигнализацией, огнетушителем и планом эвакуации. Все электронные приборы подключены к сети питания, имеющей защитное заземление.

Разработаны методы утилизации производственных отходов, которые подвергаются утилизации в специальных контейнерах перерабатывающих компаний.

Используемое помещение учебного корпуса соответствует установленным нормам ГОСТов и СНиПов.

Заключение

В заключении стоит отметить, что поставленная цель магистерской диссертации достигнута, доказана эффективность применения высокоскоростной обработки различных материалов методом трохойдального фрезерования. Применение прогрессивных технологий CAD-CAM систем и требуемого технологического оснащения помогли достигнуть высоких результатов исследования, а именно сокращение машинного времени, повышение стойкости инструмента.

Данное исследование может быть применено в машиностроительной сфере, а именно: авиакосмическом и инструментальном производствах, а также в мелком- и серийном производствах.

Сокращение машинного времени, повышение стойкости инструмента, а также снижение стоимости продукции поможет машиностроительным производствам быть конкурентоспособными в области обработки на станках с ЧПУ на производственном экономическом рынке.

Список использованных источников

1. Высокоскоростная и высокопроизводительная обработка (режимы, характеристика станков, инструмент): метод. указания / Сост.: М.А. Болотов, Н.Д. Проничев, О.С. Сурковидр. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 80 с.
2. Фрезерование с малой шириной контакта Sandvik Coromant: [Электронный ресурс] // Sandvik Coromant. URL: <https://www.sandvik.coromant.com/ru-ru/knowledge/milling/milling-holes-cavities-pockets/pages/slicing-trochoidal-milling.aspx> (Дата обращения: 14.04.2020).
3. Высокоскоростное фрезерование WIDIA: [Электронный ресурс] // WIDIA. URL: <https://www.widia.com/ru/ru/resources/interactive-bookshelf.html> (Дата обращения: 14.04.2020)
4. Высокоскоростная обработка (HSM): [Электронный ресурс] // HAAS. URL: <https://www.haascnc.com/ru/productivity/control/hsm.html> (Дата обращения: 14.02.2020).
5. Виттингтон К., Власов В. Высокоскоростная механообработка // «САПР и графика» №11, 2002.
6. SolidCAM CAM Software: iMachining – Революция в ЧПУ обработке: [Электронный ресурс] // SolidCAM Software. URL: <https://www.solidcam.com/ru/imachining/> (Дата обращения: 14.04.2020).
7. Комплексный поставщик профессионального инструмента Hoffmann Group: [Электронный ресурс] // Hoffmann Group. URL: <https://hoffmann-group.ru/> (Дата обращения: 14.04.2020).

Приложение А

Раздел на иностранном языке

«Research of high-speed metal processing on CNC machines»

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4AM81	Кукта Я.С.		

Консультант школы: ИШНПТ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Сорокова С.Н.	к.т.н		

Консультант школы: ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Ю.П.	-		

1.1 Review of scientific and technical literature

High Speed Cutting (HSC) is a material processing technique based on the rapid removal of a material layer with little effort.

The German researcher Karl Solomon officially explained: «At certain cutting speeds, heat dissipation begins to decrease, which is accompanied by a decrease in cutting force» in 1931. The area of use of cutting speeds is shown in Figure 1 demonstrating that there is an unused processing border between traditional and high-speed processing [1].

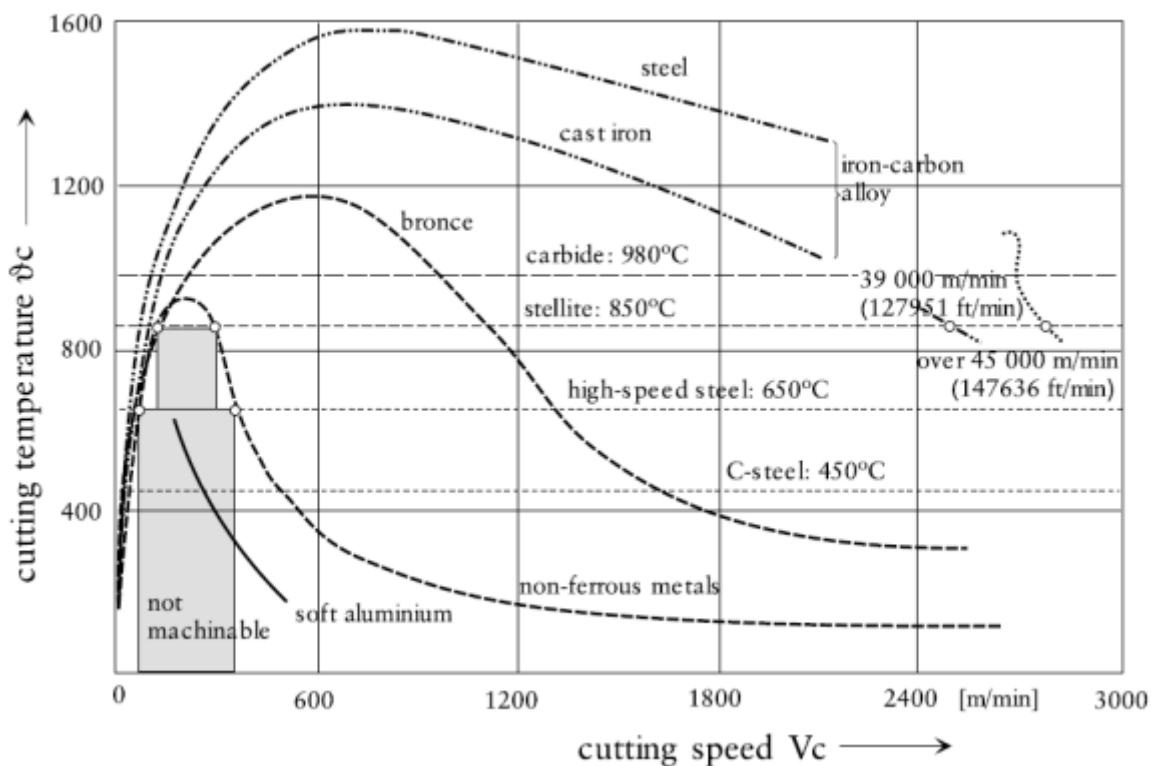


Figure 1 – Area of use of cutting speeds (The Solomon curves)

The effect of HSM is caused by structural changes in the material (due to plastic deformations carried out at high speed) at the place of the chip's separation. With an increase in the strain rate, the cutting forces initially increase, and then, with a certain temperature in the chip formation zone, they begin to decrease significantly. The contact time of the cutting edge with the workpiece and the chips is so short, and the

chip separation rate is so high that most of the heat generated in the cutting zone is removed along with the chips, and the workpiece and tool do not have time to heat up.

During blade processing of the materials forming drain chips, plastic deformation and cutting of the material occurs at the cutting edge; a friction process is observed between the chips and the front surface of the tool, as well as between the surface of the part and the rear surface of the tool. In the process of high-speed machining, with an increase in cutting speed the friction coefficient decreases. This is due to softening of the processed material in the cut zone, in some cases, until the appearance of a liquid layer.

In the course of many experiments, it has been found that 80% of the heat is generated in the zone of plastic deformation, 18% - in the contact zone of the chip-tool and 2% - in the zone of friction of the cutting edge of the tool on the material.

Studies have proven that with properly selected parameters, 75% of the heat generated is removed with chips, 20% through the tool and 5% through the workpiece [1].

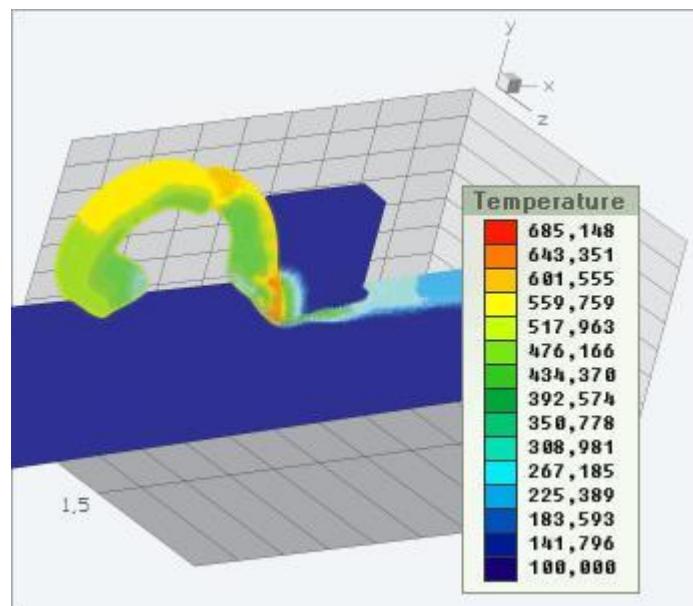


Figure 2 - The distribution of temperature in the cutting zone with HSM according to the results of [1]

1.2 Analysis of classical and trochoidal milling

During traditional milling, a groove cutter removes material to a width equal to the full diameter of the cutter. Thick chips are formed at the entrance to the material, and thin at the exit. Thin chips remove less heat generated in the cutting zone than thick ones. Part of the heat that has not been removed is located in the cutting zone and remains on the cutting edge of the tool. The amount of feed per tooth f_z is related to the speed of the cutter moving towards the feed. Until now, this value has been constant. It is expressed by the formula:

$$f_z = h_m \sqrt{\frac{d}{ae}};$$

where: h_m – average chip thickness, mm;
 ae – milling width, mm;
 d – diameter of a mill, mm.

The value of f_z is affected by the contact value ae , which also reflects the contact level of the cutter diameter d and the average chip thickness h_m .

These values depend on the material being processed and the treatment process and remain constant until the direction of movement of the tool changes. Thus, the feed per tooth f_z remains constant. The thickness of the chip determines the load on the cutting edge.

It means that there is an unstable chip thickness, a low specific volume of material removal, different surface quality during two-sided milling, low tool life and high demands for machine capacity.

Now the chip thickness is constant:

$$h_m = f_z \sqrt{\frac{ae}{d}}.$$

Table 1 – The effect of reducing chip thickness

ae %	Programmed feed f_z , mm/tooth	Chip thickness h_m , mm
100	0,15	0,1
50	0,15	0,1
40	0,15	0,09
20	0,15	0,07
10	0,15	0,046

The chip thickness h_m depends on the elevation angle of the helix of the cutting edge. With a constant feed f_z , the chip thickness is inversely proportional to the angle of the helix. This means that the larger the helix angle, the finer the chips. To increase productivity and the load on the cutting edge, you can also increase the feed.

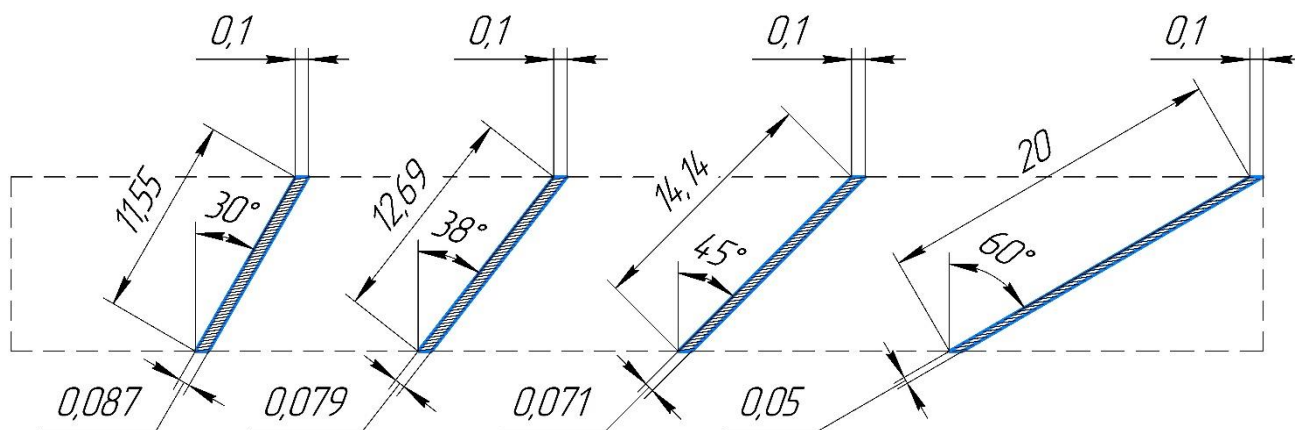


Figure 3 – Dependence of chip thickness on the elevation angle of the helix

Reducing the milling width ae also reduces the length and contact time of the material with the cutting edge, which allows reducing the temperature effect and increase the cutting speed.

Table 2 – Dependence of the contact angle on the cutting speed coefficient

ae/d	100% ae	50% ae	40% ae	30% ae	20% ae	10% ae	5% ae	4% ae
Cutting speed coefficient	0,9	1	1,1	1,2	1,3	1,4	2,5	3
Contact angle ϕ°	180	90	78,46	66,42	55,13	36,87	25,84	23,03

Trochoidal milling is a high-speed machining technology implemented by combining two overlapping rectilinear and elliptical motions.

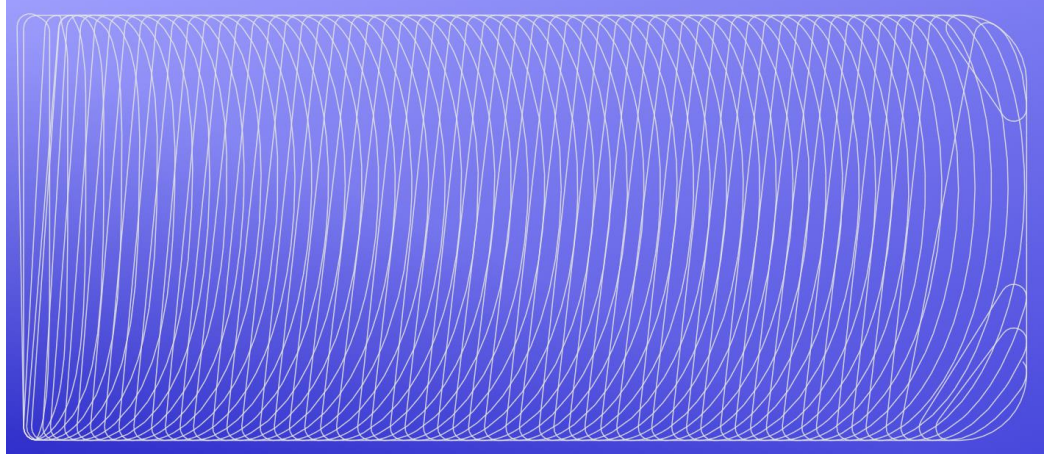


Figure 4 – The trajectory of trochoidal milling

For trochoidal milling, constant values are continuously recalculated by the CAM system.

The trochoidal milling method is presented in two variations: static and dynamic.

Using the described advantages, let us consider how it is carried out in static trochoidal milling using the example of a groove (Figure. 5).

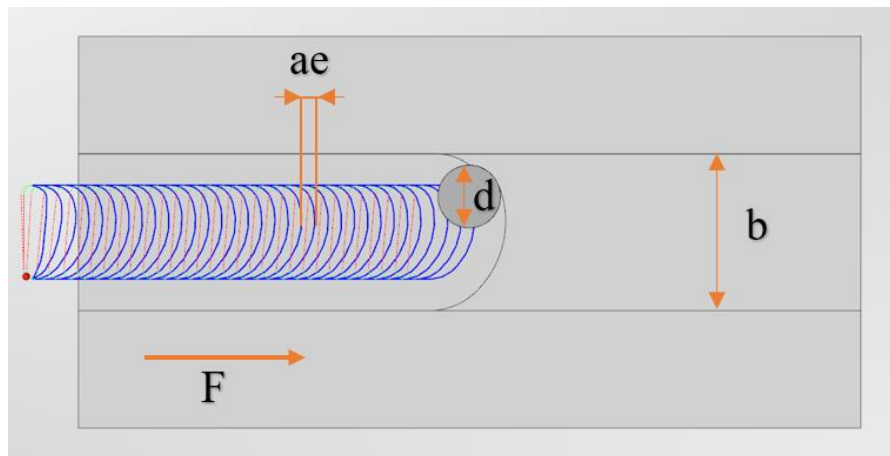


Figure 5 – Static trochoidal groove milling

The diameter of the cutter d should be equal to approximately 60-70% of the diameter of the groove. This condition is ideal for the tool to make elliptical movements with an offset equal to the milling width ae . The tool gradually cuts into the metal and come out of it.

In most CNC systems, this method can be easily programmed and optimized by turning idle movement in a circular line into direct movement, that is, the path of movement with the letter D.

The dynamic milling method is also based on a small milling width and chip thickness, but requires a more advanced CAM system for writing a control program. Using this method, it is possible to process complex contours, steps, corners using helical interpolation elements.

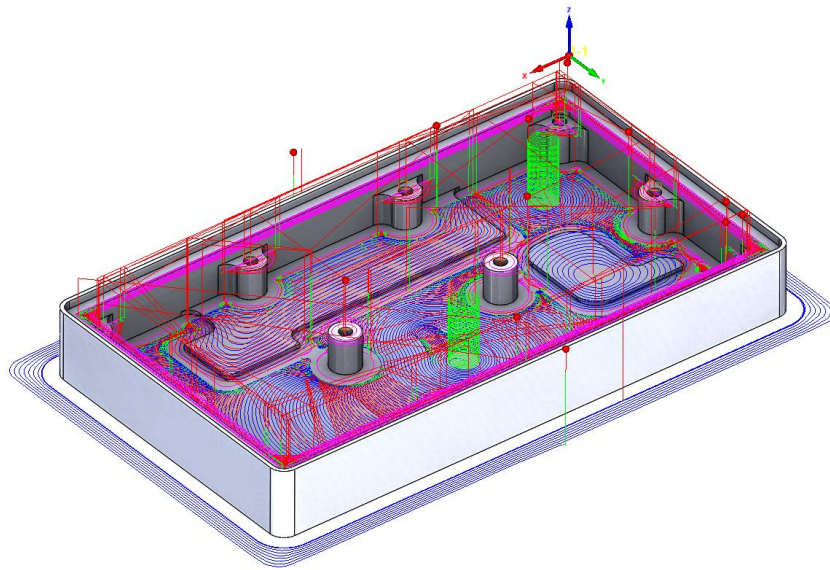


Figure 6 – Dynamic trochoidal milling of a part of the «Housing» type

The use of dynamic trochoidal milling provides the following advantages: constant chip thickness, reduced contact angle, significant reduction in the load on the cutting edge, reduced heat generation, the use of high cutting and feed speeds, reduced machine time and increased durability of the cutting tool, efficient use of the entire tool length, low equipment power requirements, reduced risk of spindle unit failure due to fluctuations and peak torque loads compared (typical for classical milling).

1.3 Areas of HSM use

Applications for high-speed processing:

aerospace industry: processing of large-sized parts from aluminum alloys (impellers, vanes, compressor disks, handles);

industry: small-scale / mass production of parts: processing of various materials (steel, aluminum, copper). Detail types: cases, forks, combs, adapters, stops;

industry: the manufacture of molds / dies for injection molding and cold stamping.

1.4 Hardware Requirements

The main requirement for the implementation of high-speed mechanical processing on CNC machines of the milling group is the availability of the option of preview frames. This means that the front of the CNC system reads the frames of the control program in advance and makes it possible to perform complex movements without delays or damage to the equipment. The option provides the desired results when combining short strokes with a high feed rate.

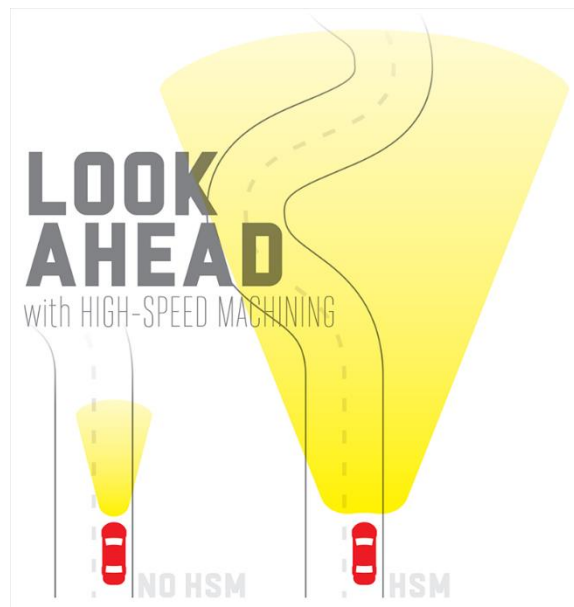


Figure 7 – Graphic illustration of the meaning of the HSM option

In Siemens CNC systems, the inclusion of the high-speed milling option HSM is carried out by adding G-commands to the control program:

SOFT FFWON COMPCAD G64 или CYCLE 832(0.01, 1,1).

For other manufacturers of CNC systems there will be their own G-commands:
for rack company HAAS:

G187 PnE;

where: Pn – level of processing (smoothness of the trajectory):

P1 – roughing level;

P2 – is the level of semi-finished processing;

P3 – finishing level.

for FANUC racks, the high-speed processing function works only for one tool, and not for the entire program, i.e. for each tool G-team has to be registered again. The inclusion of the option is registered before taking the corrector to the tool length of the current tool and is switched off forcibly until the tool is changed:

G5.1 Q1;

///

G5.1 Q0.

1.5 Requirement for CAM System

To generate control programs using high-speed processing, the CAM system must support a high-speed processing module. The module forms the paths of the programmed processing sections in the form of polymorphic spirals.

Currently, popular CAM systems have the following modules: SolidCAM – Imachining module, Mastercam – Dynamic Motion, Inventor HSM – Adaptive Clearing, NX CAM – Volumill.

1.6 Tooling Requirements

To implement high-speed machining, the tool must be rigidly fixed in the machine chuck. The following cartridges: Weldon, thermo -, hydro- are used.

Weldon

Weldon milling chuck is designed for reliable centering and fixing of the cutting tool with the shank. The cartridge has a standard design, made as standard in the form of a cylinder, at the end of which a cone. At the end of the cone, an exact hole of a certain diameter is made according to the tolerance A6.



Figure 8 – Weldon Chuck and Flat Cutters Used

To work with a cartridge, you need a tool with a flattened surface on its shank. The clamping is carried out by tightening the screw, which butts against the flattened surface securely fixing the tool.

Advantages are as follows: large, in comparison with a collet cartridge, rigidity, simplicity.

Disadvantages are as follows: tools with different shank diameters need different chucks.

Thermal phial

The thermal phial is used to clamp the tool under thermal compression. An exact hole of a certain diameter of the used tool is made at the end of the thermal phial using the tolerance for A6.

The operation principle of the thermal phial is as follows: it is heated in a heat shrink device, under the influence of temperature the landing hole expands and the tool is installed. When cooling, the thermal phial is compressed and the installed tool is clamped with extreme force. Thermal phial cooling occurs in air or in a special chamber of a heat shrink device. Thermal phial release occurs in a similar manner.



Figure 9 – The thermal phial of the «HAIMER» company



Figure 10 – Shrink machine of «BILZ» company

Advantages are as follows: high reliability and maximum clamping force on a large overhang of the tool; significant increase in the resistance of the cutting tool; the first choice of performance from all clamping systems.

Disadvantages are as follows: tools with different shank diameters need different chucks; special equipment is needed to install / remove the tool; the cartridge is subject to wear due to thermal heating / cooling cycles.

Hydraulic cartridge

Hydraulic cartridge is a milling mandrel opposite to the thermal phial. The cutting tool clamps due to fluid pressure.

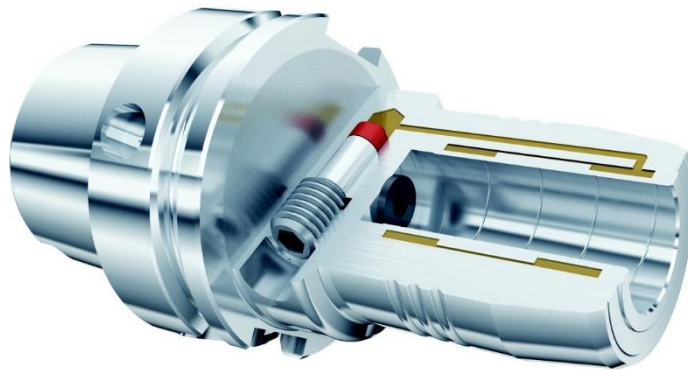


Figure 11 – Cross-section of «SCHUNK» hydraulic cartridge

The operation principle of the hydraulic cartridge is as follows: the clamp of the tool occurs due to the rotation of the fastening screw in the side surface of the screw, high pressure is created in the cavity with the liquid, which leads to deformation of the clamping sleeve and the tool is tightly crimped with a minimum offset of the tool axis. The fluid in the cartridge helps dampen the vibrations.

Hydraulic cartridge is more versatile in contrast to the thermal phial requiring special equipment.

Advantages of a hydro chuck are similar to the advantages of a thermal phial.

Disadvantages are as follows: tools with various shank diameters need different chucks; low clamping force in comparison with the thermal phial; cartridges may leak after prolonged use.

1.6 Cooling system requirement

When using the classic coolant supply system, tool life is significantly reduced, this is manifested mainly in the chipping of the cutting edges of carbide inserts, due to cyclic thermal loads. A constant heat load, even at relatively high temperatures, is better than a cyclic load changing at relatively low temperatures. Most preferred is cooling of the compressed air blows of the instrument.

1.7 Cutting conditions

Determining the cutting conditions is one of the main points for successful and high-quality machining. There are various recommendations for calculating the cutting conditions when using HSM.

There are two approaches to determining the cutting conditions: analytical and experimental.

The analytical method for calculating the cutting conditions takes into account the material of the tool, geometry, reach, depth, width of cutting and tensile strength of the processed material.

The experimental method for calculating the cutting conditions speaks for itself. The manufacturer of the cutting tool indicates the range of cutting modes: speed, depth and feed for the tool life.

Some CAM systems can calculate the cutting conditions. SolidCAM is the only CAM system that assigns optimal cutting conditions from processing conditions. SolidCAM's patented iMachining which automatically optimizes feed rates, tool speeds, depth and width of cut.

iMachining takes into account the characteristics of the CNC machine, as well as the material of the workpiece and tool to calculate the optimal cutting conditions.

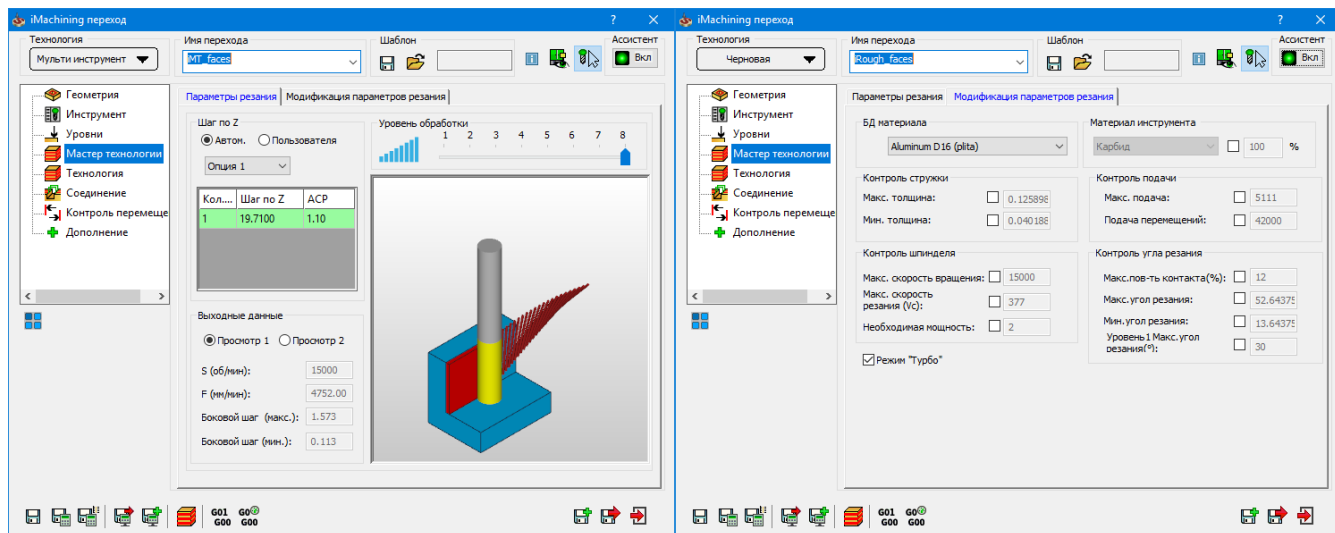


Figure 12 – Dialog boxes of the iMachining module

The iMachining processing level slider allows the user to choose one of 8 possible levels to automatically adapt the processing to the «real» conditions of workpiece and tool fixing and processing conditions